

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

Смірнова Ольга Леонідівна

УДК 621.357.7

**АНОДНІ ПРОЦЕСИ НА ЗОЛОТІ
В ГАЛОГЕНІДНО-Сульфатних Розчинах**

Спеціальність 05.17.03 - технічна електрохімія

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 2001

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі технічної електрохімії Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Байрачний Борис Іванович,
Національний технічний університет "Харківський
політехнічний інститут",
завідувач кафедри технічної електрохімії

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Калиновський Євгеній Адамович,
Український державний хіміко-технологічний університет,
м. Дніпропетровськ,
професор кафедри технології електрохімічних виробництв;
кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Лукашук Тетяна Сергіївна,

Науково-дослідний інститут хімії
Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна,
м. Харків,
старший науковий співробітник відділу електрохімії

Провідна установа: Інститут загальної та неорганічної хімії
Національної Академії Наук України,
відділ електрохімії водних розчинів, м Київ

Захист відбудеться " 7 " червня 2001р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.03 у Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут" за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут".

Автореферат розісланий " 26 " квітня 2001р.
Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
Сахненко М.Д.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Фізико-хімічні процеси отримання золота з рудних концентратів та вторинної сировини мають важливе значення у промисловому комплексі України. Електрохімічні методи переробки золота відіграють головну роль в цих процесах. Існуючі методи рафінування золота високої чистоти передбачають використання агресивних та високотоксичних речовин (ціаніди, суміші концентрованих соляної й азотної кислот), які в значній мірі погіршують умови праці та екологічну безпеку виробництва.

Разом з тим ефективним та менш токсичним процесом є електрохімічна переробка золота в розчинах сірчаної кислоти та галогенідів (хлоридів, бромідів). У таких розчинах можна проводити анодне розчинення золота, його сплавів і покриттів, а потім, після насичення електролітів іонами золота, - його відновлення. Катодне виділення золота у вигляді фольги або порошку дозволяє одержувати метал високої чистоти.

Дані про кінетику і механізм електродних реакцій, що мають місце на золоті в розчинах сірчаної кислоти та галогенідних середовищах, у літературних джерелах практично відсутні. Виняток складають деякі публікації про анодне розчинення золота в концентрованих розчинах соляної кислоти та її солей. З огляду на високу хімічну активність розчинів сірчаної кислоти підвищеної концентрації (більш 7 моль/дм³), а також активність розчинів галогенідів стосовно золота, проведення досліджень по розробці процесу електрохімічного розчинення золота в цих електролітах є важливим у теоретичному і прикладному аспектах.

Вивчення кінетичних закономірностей протікання анодних реакцій у розчинах сірчаної кислоти й галогенідів дозволяє оцінити вихідні дані для розробки електролітів та технологічних процесів переробки золота та його покриттів. Такі розчини, за винятком хлоридів, до останнього часу в промисловості не використовувалися. Застосування їх сприяє значному поліпшенню якості отриманого металу, умов реалізації технологічних процесів

та екологічної безпеки.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота є систематичним дослідженням, виконаним на кафедрі технічної електрохімії НТУ "Харківський політехнічний інститут" відповідно до координаційного плану Міністерства науки і технології України (тема 02.05.04/004 - 93, входить у комплексний проект 02.05.04/003к - 95 державної науково-технічної програми пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки (наказ N52 від 18.06.93 р.)), а також відповідно до проекту 3.4/436 (наказ N72 від 17.03.97) Міністерства освіти і науки "Дослідження кінетики електродних реакцій під час синтезу електрокаталітичних матеріалів" за договором НФ4/1685 - 97 від 24 жовтня 1997 р.

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження - розробка технологічних процесів електрохімічного рафінування золота та його регенерації з вторинної сировини. Для досягнення сформульованої мети в дисертаційній роботі передбачено: дослідження кінетики анодних процесів на золоті в сірчаній кислоті, галогенідних (хлоридних, бромидних, йодидних) і галогенідно-сульфатних розчинах, визначення основних кінетичних параметрів розчинення як золота, так і металів основи (мідь, нікель), що застосовуються під золоті покриття; дослідження корозійних процесів на золоті, міді й нікелі в зазначених середовищах; виявлення впливу факторів (природа аніонів, концентрація компонентів розчину, рН, густина струму, вихід за струмом) на швидкість окислення золота; вивчення поведінки золотих анодів в потенціостатичному та гальваностатичному режимах; обґрунтування механізму електрохімічних і хімічних реакцій, які мають місце в досліджених системах; оптимізація складів електролітів і режимів електролізу переробки золота і його покриття; дослідження процесів отримання золота (у вигляді металу).

Об'єктом дослідження є електрохімічна поведінка золота і його покриття у хімічно активних середовищах.

Предмет дослідження - анодні процеси, що протікають на золоті в галогенідно-сульфатних розчинах.

Методи дослідження. Дослідження кінетики анодних процесів на золоті та металах основи проводили з використанням поляризаційних та графоаналітичних методів. Дослідження корозійних процесів на золоті, міді й нікелі в зазначених середовищах проводили методами корозійних випробувань зразків. Вивчення поведінки золотих анодів здійснювали в гальваностатичному режимі та з використанням методу потенціостатичної хроноамперометрії. Якісний аналіз продуктів хімічних та електрохімічних реакцій, що мають місце на золоті в галогенідно-сульфатних розчинах, проводили за допомогою метода індивідуальних реакцій іонів.

Наукова новизна отриманих результатів. На основі досліджень кінетичних залежностей анодних реакцій встановлені головні електрохімічні параметри (перенапряга, гранична густина струму, лімітуюча стадія) іонізації золота в концентрованої сірчаній кислоті та її розчинах з хлоридами і бромідами. Отримані нові дані з механізмів анодних процесів на золоті в сульфатно-галогенідних розчинах. Вперше досліджено процес катодного виділення золота з йод-йодидно-сульфатного електроліту.

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновані: технологічний процес електрохімічного рафінування золота в сірчаноокислих, хлоридно-сульфатних і бромидно-сульфатних розчинах; технологія анодного розчинення золотих покриттів з основи з мідних і нікелевих сплавів у концентрованої сірчаній кислоті і хлоридно-сульфатному електроліті; технологія вилуження золота та переробки сировини в бромидних та йодидних середовищах; технологічний процес катодного виділення золота з йод-йодидно-сульфатного електроліту.

Отримані результати створюють передумови для широкого застосування їх у всіх галузях переробки золотовмісної, як первинної, так і вторинної, сировини. Запропоновані електроліти дозволяють інтенсифікувати електрохімічне рафінування золота і контролювати процеси анодного розчинення золотих покриттів з одночасним гальмуванням розчинення металу основи.

Технологія хімічної та електрохімічної переробки золота в зазначених розчинах відрізняється ефективністю, доступністю реактивів, порівняно меншою токсичністю виробництва стосовно вже існуючих технологічних процесів, що свідчить про її економічну та екологічну доцільність.

Запропонована технологія знайшла дослідно-промислове використання на АТ УкрСіб ВДМ і рекомендована до впровадження у виробництво.

Особистий внесок здобувача. Особистий внесок складається в безпосередній участі в проведенні наукових дослідів, аналізі та узагальненні отриманих результатів, а також обґрунтуванні теоретичних положень, які дали змогу визначити оптимальні склади розчинів і технологічні параметри розчинення золота та його покриттів. Дисертантом особисто підготовлені публікації й матеріали виступів на з'їздах та конференціях по темі дисертації.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень були подані на:

- Міжнародних науково-технічних конференціях "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я" (м.Харків, 1997- 1998 рр.);
- Научно-технічних конференціях аспірантів і співробітників Харківського державного політехнічного університету (1999-2000 рр.) ;
- Другій міжнародній конференції "Благородные и редкие металлы. БРМ-97" (м.Донецьк, 1997 г);
- II Українському електрохімічному з'їзді (м. Дніпропетровськ, 1999 р.).

Публікації. По темі дисертаційної роботи опубліковано 8 статей та 2 тези доповідей.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається з вступу, 8 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел, 3 додатків. Повний обсяг дисертації складає 220 сторінок, 69 рисунків на 69 сторінках, 26 таблиць по тексту, 3 додатки на 6 сторінках, 114 найменувань літературних джерел на 9 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність проблеми, сформульована мета дослідження, наведена його наукова і практична важливість.

У першому розділі проведено аналіз електродних рівноваг у системі золото - електроліт (сірчана кислота, хлориди, бромиди, йодиди) при рН = -2 ÷ 5. На підставі огляду літератури дана оцінка стану проблеми електрохімічного розчинення золота та його покриттів у хімічно активних середовищах. Анодна поведінка золота та його сплавів у соляній кислоті достатньо докладно розглянута в роботах Стендера В.В., Баймакова Ю.В., Єрусалімчика І.Г. і Моїсеєва С.С.. Що стосується анодного розчинення золота в сірчаній кислоті, бромидних та йодидних електролітах, то ці процеси в теоретичному і прикладному аспектах мало досліджені. Розглянуті властивості покриттів золота та його сплавів, що застосовуються в радіоелектронній апаратурі і приладобудівній техніці, а також технологічні процеси їх осадження. Проведено порівняльний аналіз сучасних методів переробки золотовмісної сировини. Сформульовано основні задачі дослідження.

У другому розділі викладено методика підготовки електродів із золота (золотий дріт марки ЗЛ 999.9 (ГОСТ 6835-80)), платини (платиновий дріт марки Пл. 99.9 (ГОСТ

13498-68)), міді і нікелю; обрано склади досліджуваних електролітів. Обґрунтовано методи дослідження.

Поляризаційні потенціодинамічні (10 мВ/с), потенціо- і гальваностатичні виміри здійснювали за допомогою імпульсного потенціостата ПИ 50-1. 1 з програматором ПР-8. Зміни струму або напруги фіксували самописним приладом ЛКД-4.

Електричний струм при цьому відносили до геометричної поверхні зразка. Всі виміри проводили у термостатованій ячейці ЯСЭ-2 з відокремленим за допомогою пористої мембрани катодним та анодним простором при температурі 20-25⁰С. Для зміни і підтримки заданої температури електроліту в ячейці використовували термостат ИТИ2/77. Допоміжним електродом був плоский платиновий електрод, електродом порівняння - хлорсрібний електрод. Усі значення потенціалів перераховувались по водневій шкалі. Визначення рН здійснювали за допомогою рН-метра рН-673 М. Механізм анодного розчинення золота досліджували шляхом аналізу потенціодинамічних поляризаційних залежностей у координатах електрохімічної, дифузійної та змішаної кинетики. Для виявлення природи лімітуючої стадії використовували метод потенціостатичної хроноамперометрії, що застосовується для дослідження анодного окислення пасивних металів.

Анодний вихід за струмом золота визначали при постійній густині струму за допомогою ваг ВЛП-200г, похибка яких складала $\pm 2 \cdot 10^{-5}$ г. Швидкість розчинення золота, міді і нікелю визначалася гравіметрично. Якісний аналіз золота був проведений на підставі методики індивідуальних реакцій іонів. Відновлення сполук золота в розчині до металу здійснювали осадженням цинковою стружкою або порошком.

У третьому розділі досліджено анодна поведінка золота у 1 - 18,7 М Н₂SO₄, що являє собою складну багатоконпонентну систему. У концентрованій сірчаній кислоті завдяки значному вмісту іонів водню створюються сприятливі умови для утворення недисоційованих молекул вільної кислоти. З цим пов'язана наявність окисних властивостей у концентрованої сірчаної кислоти при практично повній їх відсутності в її розведених розчинах. Концентрована сірчана кислота виявляє окисні властивості за рахунок зниження валентності атома сірки.

В умовах анодної поляризації в 7,1-18,7 М Н₂SO₄ в інтервалі потенціалів 0,4 - 2,1 В іонізації золота передують хімічна активація електрода, адсорбція кисню на його поверхні, утворення фазового оксиду золота. Зазначені процеси характеризуються малими густинами струму ($j_a \approx 1,4 \cdot 10^{-3}$ А/см²). Після досягнення максимуму струму відбувається різкий спад швидкості процесу, що свідчить про утворення пасивної плівки (Au₂O₃). Розраховано порядок лімітуючої гетерогенної хімічної реакції, наведені параметри стану золотого електрода в умовах електрохімічної адсорбції кисню, розраховані коефіцієнти рівняння Тафеля (b) для перенапруги виділення кисню.

При потенціалах понад 2,1В відзначається інтенсивне зростання швидкості процесу, зумовлене розчиненням золота по реакціям:



і виділенням кисню. В результаті утворюються іони золота Au³⁺ і поверхневий оксид золота

перемінного складу. Кінетичними складовими в цьому випадку є впливаючі спільно на процес електрохімічна стадія і хімічна стадія взаємодії сірчаної кислоти з поверхнею золотого електроду.

Отримані хроноамперограми та хронопотенціограми анодного розчинення золота в 18,7 М H₂SO₄, які підтверджують змішаний контроль даного процесу. Найбільший вихід за струмом для золота (100%) досягається при максимальній концентрації сірчаної кислоти і мінімальній густині струму (до 0,5 А/дм²) унаслідок збільшення перенапруги виділення кисню. З розведенням сірчаної кислоти до 7,1 моль/дм³ (50 мас.%) на аноді головним чином виділяється кисень (табл. 1).

В 1 М H₂SO₄ активація золотого аноду зумовлена протіканням процесу утворення кисню з гідроксильних іонів, що є слідством дисоціативної адсорбції води. Розчинення золота не спостерігається, тому що кислота такої концентрації не має окисної здатності.

У четвертому розділі досліджено процеси електрохімічного розчинення золота в 1 М HCl, хлоридних і хлоридно-сульфатних розчинах з вмістом KCl або NaCl 0,1-1 моль/дм³, наведено основні кінетичні параметри розчинення золота.

Анодні поляризаційні потенціодинамічні залежності, що отримані для золота в цих розчинах, мають вигляд, характерний для металів, що пасивуються, із явно вираженими ділянками активного розчинення золота і виділення хлору, граничної густини струму з переходом у пасивний стан і спільного виділення кисню.

Виникнення граничних густин струму зумовлено виділенням газоподібного хлору й утворенням поверхневого шару, що складається з продуктів окислення золота. Це сприяє частковому гальмуванню анодного процесу та розчиненню золота через пори пасивного шару. В результаті гідролізу хлору в електроліті можливе утворення хлорноватистої кислоти та оксиду хлору.

Таблиця 1

Вихід за струмом (BC_a, %) та швидкість електрохімічного розчинення золота (V_{ex}, г/дм²Чг) у сірчаноокислих, галогенідних і галогенідно-сульфатних розчинах, t = 20-25⁰С

N	Склад електроліту	Густина струму j _a , А/дм ²							
		0,5	1	2	3	4	5	6	
Розчини сірчаної кислоти									
1	7,1 М H ₂ SO ₄	BC _a	4	4	4	4	4	4	-
	V _{ex}	0,07	0,15	0,3	0,44	0,59	0,74	-	
2	12,8 М H ₂ SO ₄	BC _a	16	16	16	16	16	16	-
	V _{ex}	0,3	0,59	1,18	1,78	2,37	2,96	-	
3	16,6 М H ₂ SO ₄	BC _a	82	49	33	30	27	30	-
	V _{ex}	1,52	1,81	2,44	3,33	4,0	5,55	-	
4	18,7 М H ₂ SO ₄	BC _a	100	85	62	47	38	30	-
	V _{ex}	1,85	3,15	4,59	5,22	5,62	5,55	-	
Хлориди									
5	1 М HCl	BC _a	41	30	73	98	42	60	93
	V _{ex}	0,76	1,11	5,4	10,9	6,2	11,1	20,6	

6	1 M KCl	BC _a	59	49	71	68	59	66	80		
	V _{ex}		1,1	1,8	5,3	7,5	8,7	12,2	17,8		
7	1 M NaCl	BC _a	49	41	41	41	49	-	-		
	V _{ex}		0,9	1,5	3,0	4,5	7,3	-	-		
8	1 M KCl, 0,5 M H ₂ SO ₄	BC _a		59	49	40	52	52	63	95	
	V _{ex}		1,1	1,8	3,0	5,8	7,7	11,7	21,1		
9	1 M NaCl, 0,5 M H ₂ SO ₄	BC _a		49	41	53	65,5	73	72	-	
	V _{ex}		0,9	1,5	3,9	7,3	10,8	13,3	-		
Бромиди											
10	0,5 M KBr	BC _a	82	76	52	39	31	26	23		
	V _{ex}		1,5	2,8	3,8	4,3	4,6	4,8	5,1		
11	1 M KBr	BC _a	99,5	99,5	83	80	78	75	70		
	V _{ex}		1,8	3,7	6,1	8,9	11,5	13,9	15,5		
12	1 M KBr, 0,5 M H ₂ SO ₄	BC _a		100	99,5	99,5	99,5	90	87	82	
	V _{ex}		1,85	3,7	7,4	11	13,3	16,1	18,2		

Встановлено, що анодне розчинення золота в 1 M HCl в інтервалі потенціалів 1,1-1,3 В протікає з електрохімічним контролем. Коефіцієнт b у рівнянні Тафеля дорівнює 0,16, що вказує на лімітуючу одноелектронну електрохімічну реакцію:



В області граничного струму визначальними є концентраційні обмеження. Отримані дані про природу лімітуючої стадії процесу підтверджуються хроноамперометричними вимірами.

Анодне розчинення золота в хлоридах лужних металів у потенціодинамічному режимі аналогічно розчиненню в соляній кислоті. До істотних відмінностей можна віднести більш широкий інтервал потенціалів розчинення золота, високі $j_{\text{пр}}$ і відсутність на кривих дільниці граничного струму. Зазначені особливості мабуть зумовлені збільшенням розчиняючої властивості даних розчинів, зростанню коефіцієнта дифузії іонів Cl^- у ряду HCl - NaCl - KCl, а також зниженню термодинамічної сталості хлору в нейтральних середовищах. Введення сірчаної кислоти ($0,5 \text{ моль/дм}^3$) знижує перенапругу виділення хлору, сприяє підвищенню розчинності продуктів окислення золота в електроліті. Порядок реакцій по аніонах Cl^- приблизно дорівнює 1.

Хроноамперограми, показані на рис.1 свідчать про те, що для анодного розчинення золота в хлоридах властивий змішаний контроль, а в хлоридно-сульфатних розчинах - електрохімічний контроль. Пряма лінія, на яку лягають експериментальні дані в координатах $j - \text{Цт}$, (кр.1), відтіняє позитивний відрізок на осі ординат. Розмір цього відрізка ($0,073 \text{ А/см}^2$), дорівнює струму, що спостерігався b на електроді, якщо вдалося цілком зняти концентраційну поляризацію.

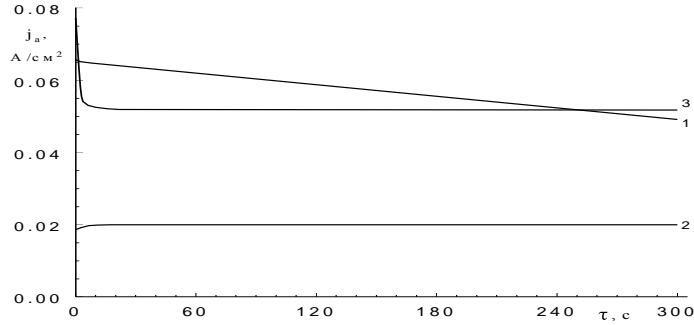
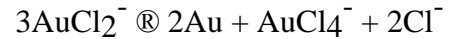
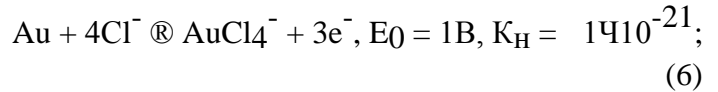
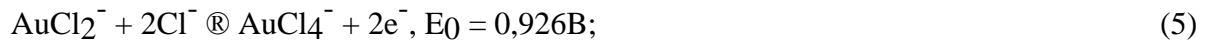
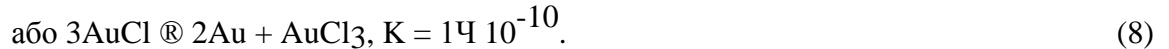


Рис.1. Хроноамперограми, отримані на золоті в хлоридних електролітах.
 Кр.: 1 - 1 М КСl, $E_a = 1,7В$; 2 - 1 М КСl, 0,5 М H_2SO_4 , $E_a = 1,25В$;
 3 - 1 М КСl, 0,5 М H_2SO_4 , $E_a = 1,45В$.

В результаті протікання в системі електрохімічних і хімічних реакцій



(7)



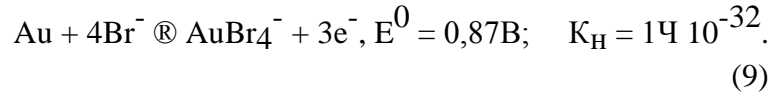
утворюються комплексні сполуки Au(III), існування яких доведено якісними реакціями на іони Au^{3+} . Вихід за струмом для золота із соляної кислоти та хлоридів стрибкоподібно зростає при підвищенні j_a (табл.1). Це пов'язано з конкуруючими процесами розчинення золота і виділення хлору, що діє як окислювач.

У п'ятому розділі вивчена корозійна та електрохімічна поведінка золота в розчинах КВr. З літературних джерел відомо про хімічну взаємодію золота з молекулярним бромом. Нами вивчена можливість розчинення золота в 1 М КВr у відсутності і з додаванням Br_2 і/або/ H_2SO_4 (0,5 моль/дм³). Корозія в даному випадку відбувається по електрохімічному механізму і зумовлена адсорбційною активністю і комплексоутворюючою здатністю бромиду (табл.3).

Для анодних процесів на золоті в 0,1-1 М КВr характерні іонізація золота, окислення бромиду і виділення газоподібного кисню. На ділянці активного розчинення відповідних потенціодинамічних кривих швидкість анодного процесу зростає пропорційно концентрації бромиду. Порядок реакції при цьому по аніонах Br^- приблизно дорівнює 1. В результаті електродних і хімічних реакцій у системі можливе утворення Br_3^- , Br_2 , BrO^- , BrO_3^- , що ускладнює протікання анодного процесу на золоті. Поява граничних густин струму пов'язана з інтенсивним виділенням молекулярного бромиду, що блокує поверхню електроду.

Анодне розчинення золота в бромидних електролітах протікає тільки разом із виділенням бромиду і підпорядковується закономірностям змішаної кінетики. Введення в бромидний електроліт добавки сірчаної кислоти сприяє зміщенню потенціалу іонізації золота в негативну область. На потенціодинамічних кривих при потенціалах

0,7-0,72 В, де потенціал виділення бромиду ще не досягається, має місце електрохімічна перенапряга. Коефіцієнт $b=0,034$, а це відповідає електродній реакції за участю 3-х електронів. Тому є підстави припустити, що золото розчиняється по реакції



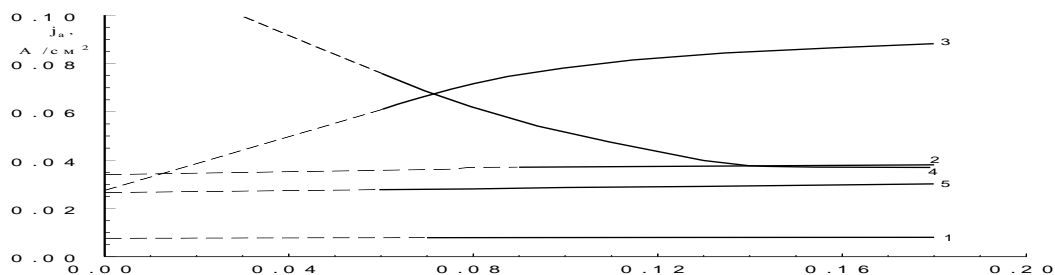
Комплексні аніони, що утворюються при цьому, схильні до реакцій самовідновлення



Вплив добавки сірчаної кислоти виражений неоднозначно. Аніони SO_4^{2-} у визначеному співвідношенні концентрацій з KBr здатні або стимулювати ($0,5$ моль/дм³), або гальмувати (1 моль/дм³) анодний процес.

Анодне розчинення золота в бромидно-сульфатному електроліті в потенціостатичному режимі при потенціалах $0,8-0,825$ В відбувається при постійній густині струму, що відповідає електрохімічній кінетиці. При потенціалах понад $0,825\text{В}$ порушується стабільність процесу, а хроноамперограми виявляють максимальну лінійність у координатах дифузійної кінетики (рис.2). Розчинення золота в бромидно-сульфатному електроліті в гальваностатичному режимі протікає практично при постійних значеннях потенціалу.

Швидкість розчинення золотого аноду в бромидних (бромидно-сульфатних) електролітах на 3-4 порядки вища, ніж швидкість корозії в аналогічних розчинах. VC_a для золота зменшується в міру збільшення густини струму (табл.1). Для бромидних розчинів він не перевищує 82%, а для бромидно-сульфатних розчинів досягає 99-100% при $j_a = 0,5-3$ А/дм², що дозволяє практично цілком виключити виділення токсичного бромиду.



$1/Ct$ (t,c)

Рис.2. Залежності $j_a - 1/Ct$ анодного розчинення золота в 1 М KBr , $0,5$ М H_2SO_4 при $E_a = \text{const}$. Кр. : 1 - $0,8\text{В}$; 2 - $0,825\text{В}$; 3 - $0,85\text{В}$; 4 - $0,9\text{В}$; 5 - $0,95\text{В}$.

У шостому розділі досліджена корозійна та анодна поведінка золота в йодидних розчинах. На підставі гравіметричних вимірів встановлено, що в $0,1-1$ М KI розчинення золота не відбувається. Присутність у системі йодиду молекулярного йоду, а також контакт розчину з киснем повітря, сприяють самодовільному окисленню золота і виділенню на його поверхні солі AuI , розчинної в йодиді з утворенням комплексу KAuI_2 . Додавання в розчині KI сірчаної кислоти приводить до зсуву хімічної рівноваги в системі у бік виділення вільного йоду і протіканню на золоті корозійного процесу. Параметри розчинення золота відображені в табл.3.

Анодна поведінка золотого електроду в розчинах КІ принципово відрізняється від поведінки в бромидних і хлоридних електролітах. За допомогою поляризаційних і гравіметричних вимірів виявлена відсутність електрохімічного розчинення золота в йодидних та йодидно-сульфатних розчинах. Це зумовлено інтенсивним протіканням реакцій електрохімічного окислення йодиду в тому ж інтервалі потенціалів, де термодинамічно можливе розчинення золота:



В умовах анодної поляризації на золоті реалізуються процеси в системі $\text{I}^- / \text{I}_2 / \text{I}_3^-$ і виділення кисню. Отримані поляризаційні потенціодинамічні і потенціостатичні криві, а також залежності $j - t$ і $E_a - t$ дають уявлення про кінетику та механізм анодного процесу на золоті в даних розчинах. Порядок реакцій по аніонах I^- у йодидних й йодидно-сульфатних електролітах приблизно дорівнює 1, що вказує на стадійність механізму окислення йодиду. Лінеаризація залежності $j_{\text{гр}} - C(\text{I}^-)$ свідчить про уповільнену хімічну стадію. Отримані результати узгоджуються з даними, поданими у Феттера про механізм реакцій, що протікають в аналогічній системі на платиновому електроді.

Анодні процеси на золоті залежать не тільки від концентрації йодиду, а також і від що заданих величин потенціалу та густини струму. В області далекої від $j_{\text{гр}}$ струм і потенціал практично не змінюються за часом, а в області граничної густини струму вони не стабільні через блокування робочої поверхні аноду твердим йодом (змішана кінетика). В йодидно-сульфатних розчинах анодний процес обумовлений співвідношенням концентрацій КІ і H_2SO_4 .

Досліджено катодний процес осадження золота на нікелеву основу з йод-йодидно-сульфатного електроліту. Присутність у даному електроліті сірчаної кислоти сприяє підвищенню перенапруги катодного відновлення золота. На відповідній для даного процесу поляризаційній потенціодинамічній кривій, отриманій в розчині 1М КІ, 0,5М I_2 , 0,5М H_2SO_4 і $7,64 \cdot 10^{-2}$ М Au, можна виділити три ділянки.

Перша - лінійна, в інтервалі потенціалів 0,48-0,4В, відповідає реакціям:



і підпорядковується закономірностям дифузійної кінетики. Друга ділянка відповідає протіканню катодного процесу на граничній густині струму в широкій області потенціалів (0,32-0,3В) із змішаним контролем. При зсуві потенціалу катоду в негативну область спостерігається третя прямолінійна ділянка, що відповідає виділенню водню.

Експериментально встановлена можливість одержання задовільних осадків золота (товщиною до 10 мкм) із зазначеного вище електроліту на нікелеву основу. Отримані осадки - компактні, дрібнокристалічні, жовтого кольору. Встановлено діапазон робочих густин струму - $j_{\text{к}} = 1-1,7 \text{ А/дм}^2$. Погана адгезія золотого покриття дозволяє відокремити золото від основи у вигляді плівки або фольги.

У сьомому розділі визначено параметри хімічного й анодного розчинення міді та нікелю (табл. 2 і 3). Кинетика активного розчинення міді та нікелю в концентрованій сірчаній кислоті лімітується стадією дифузії молекул води до поверхні електроду, а виникнення граничних густин струму на поляризаційних залежностях і пасивація анодів у широкій області потенціалів (0,4-4В) пов'язані з формуванням оксидно-сульфатної плівки, що має високий омичний опір. Зниження вмісту води в кристалогідратах H_2SO_4 приводить до гальмування корозійних процесів на міді та нікелі.

Анодна поведінка нікелю в хлоридних і бромидних розчинах завдяки добрій розчинності відповідних солей характеризується активним розчиненням його у всій дослідженій області потенціалів. В йодидному електроліті нікель пасивується через утворення малорозчинного NiI_2 . Для анодного розчинення міді в галогенідах властиве утворення іонів Cu^+ і Cu^{2+} (крім йодидів, де іонізація міді протікає тільки до Cu^+), а також виділення вільних галогенів (Br_2 і I_2), що впливають на кинетику розчинення міді. Присутність у розчинах галогенідів сірчаної кислоти сприяє її хімічній взаємодії з продуктами окислення міді та нікелю і зниженню концентраційної поляризації. Швидкість корозії міді в бромідах та йодидах на порядок вища в порівнянні з нікелем (табл.3), а в розчині, що містить KBr і Br_2 , корозії міді та нікелю не спостерігається.

У восьмому розділі проведено узагальнення й аналіз отриманих експериментальних даних по дослідженню анодної поведінки золота, міді та нікелю в галогенідно-сульфатних розчинах. Складені таблиці (табл.1 і 2) вихідних даних для оптимізації технологічних процесів переробки золота та його покриттів. Вибір оптимальної технології був сполучений із рішенням двох поставлених практичних задач: по-перше, електрохімічного і хімічного розчинення золота при його рафінуванні в гідрометалургічних процесах; по-друге, розчинення золотих покриттів, осаджених на основу з міді, нікелю та їх сплавів, при переробці вторинної сировини. В першому випадку критеріями оптимізації були швидкість розчинення золота та його вихід за струмом. У другому випадку оптимізація передбачала вибір такого електроліту, в якому забезпечена висока швидкість розчинення золота при максимумі гальмування розчинення металів основи.

Таблиця 2.

Кінетичні параметри анодного розчинення золота, міді та нікелю в сірчаноокислих,

галогенідних і галогенідно-сульфатних електролітах, $t = 20 - 25^0 C$

N	Склад електроліту	Область потенціалів розчинення золота, В			Область відповідних густин струму, A/dm^2	
		Au	Cu	Ni		
Розчини сірчаної кислоти						
1	7,1 М H_2SO_4	1,7 - 3,2	0-10	0,2	5	
2	12,8 М H_2SO_4	1,9 - 3,2	0-10	0,1	1	
3	16,6 М H_2SO_4	2,4 - 3,2	0-10	0,1	0,5	
4	18,7 М H_2SO_4	2,1 - 3,2	0-5	0,1	0,2	
Хлориди						
5	1 М HCl	1,1 - 1,45	0-6,3	3,5-4	5-12	
6	1 М KCl	1,06 - 1,82	0-13,4	3,5-4	5-14	
7	1 М $NaCl$	1,04 - 2,03	0-12,8	3,5-4	5-14	
8	1М KCl , 0,5 М H_2SO_4		1,1 - 1,46	0-5,2	6-25	> 22

9	1 M NaCl, 0,5 M H ₂ SO ₄	1,1 - 1,74	0-9,6	6-25	> 22
Бромиди					
10	1 M KBr	0,78 - 1,2	0-13,5	0-10	14-35
11	1 M KBr, 0,5 M H ₂ SO ₄	0,66 - 1	0-16,2	2,5-35	25-60

Таблиця 3.

Хімічне розчинення золота, міді та нікелю в галогенідних середовищах, $t = 20 - 25^{\circ}\text{C}$

№ р-ну	Склад розчину	рН			Швидкість хімічного розчинення			$V_x, \text{мг/дм}^2\text{Чг}$
		Au	Cu	Ni				
Бромиди								
1	1 M KBr	5	20	1	0,05			
2	1 M KBr, 0,5 M Br ₂	5	20	-	-			
3	1 M KBr, 0,5 M H ₂ SO ₄			0	30	5,3	0,5	
4	1 M KBr, 0,5 M H ₂ SO ₄ , 0,5 M Br ₂			0	32	8,6	0,4	
Йодиди								
5	1 M KI ₅	-	1,1	-				
6	1 M KI, 0,5 M I ₂	5	850	1	0,1			
7	1 M KI, 0,5 M H ₂ SO ₄			0	20	8,1	2,3	
8	1 M KI, 0,5 M H ₂ SO ₄ , 0,5 M I ₂			0	750	16	5,3	

Оптимізація даних процесів була проведена з застосуванням ЕОМ. Отримання оптимальних розчинів електролітів дозволило розробити технологію електрохімічного рафінування золота та розчинення його покриттів у потенціо- і гальваностатичному режимах. Вибір того або іншого режиму процесу був зумовлений технологічними особливостями розчинення золота, міді і нікелю в конкретному електроліті. Нижче приведені результати оптимізації - розроблені та рекомендовані технологічні процеси переробки золота.

Для електрохімічного рафінування найбільш оптимальними варто прийняти такі склади електролітів і режими електролізу:

1. Склад електроліту (г/дм^3): хлористий калій - 70-80; кислота сірчана - 50.
Режим електролізу: гальваностатичний, $t = 20-25^{\circ}\text{C}$; $j_a = 5-6 \text{ А/дм}^2$; $\text{BC}_a = 93-95\%$;
катоди - Pt або склографіт.
2. Склад електроліту (г/дм^3): бромистий калій - 119; кислота сірчана - 49.
Режим електролізу: потенціостатичний, $t = 20-25^{\circ}\text{C}$; $e_a = 0,8 - 0,82\text{В}$, $\text{BC}_a = 99 - 100\%$;
катоди - Pt або склографіт.

Для анодного розчинення золотих покриттів, осаджених на мідь, нікель та їх сплави, найбільш оптимальними варто прийняти такі склади електролітів і режими електролізу:

1. Склад електроліту (г/дм^3): кислота сірчана - 1831.
Режим електролізу: гальваностатичний, $t = 20 - 25^{\circ}\text{C}$, $j_a = 0,4-0,6 \text{ А/дм}^2$; $\text{BC}_a = 99 - 100\%$;
катоди - Pt або склографіт. Закінчення зняття Au-покриття фіксується по стрибку потенціалу.
2. Склад електроліту (г/дм^3): хлористий натрій (калій) - 50-60; кислота сірчана - 50.

Режим електролізу: потенціостатичний, $t = 20-25^0\text{C}$; $e_a = 1,6-1,8\text{В}$; $\text{ВТ}_a = 65-75\%$; катоди - Pt або склографіт. Закінчення зняття Au-покриття фіксується по стрибку струму. Для хімічної переробки золотовмісної сировини як альтернативу вже існуючим технологіям вилуження золота запропоновані такі розчини:

1. Розчин, що містить (г/дм^3): бромистий калій - 120. $\text{pH} = 5-7$; $t = 20-25^0\text{C}$.
2. Розчин, що містить (г/дм^3): бромистий калій - 120; кислота сірчана - 50. $\text{pH} = 0$; $t = 20-25^0\text{C}$.

Використання даних розчинів доцільно для селективного розчинення золота в контактi з нікелем і його сплавами.

Для регенерації золота із золотовмісної сировини, що має у своєму складі мідь і нікель, пропонується проведення технологічного процесу в 2 етапа:

1-й етап

Вилуження золота в розчині, що містить (г/дм^3): калій йодистий - 160-170; йод - 150 - 250. $\text{pH} = 5-7$; $t = 20 - 25^0\text{C}$.

Проведення кількісного аналізу золота. (Концентрація розчиненого золота повинна бути не менш ніж 15 г/дм^3 у перерахунку на метал).

Фільтрація розчину.

2-й етап

Додавання в розчин сірчаної кислоти і коректування його складу (г/дм^3): калій йодистий - 160-170; йод - 150 - 250; кислота сірчана - 50; золото (в перерахунку на метал) - 15.

Катодне осадження золота на нікель з йод - йодидно - сульфатного електроліту за вказаним вище складом. Режим електролізу: $t = 20 - 25^0\text{C}$; $j_k = 1,1-1,3 \text{ А/дм}^2$; аноди - Pt або склографіт

Механічне відділення плівки золота від нікелевої основи.

Статистична обробка експериментальних даних розчинення золота в сірчаній кислоті з різними концентраціями KBr дозволили отримати рівняння впливу двох факторів - кількості електрики і концентрації броміда на потенціал аноду. Воно має вигляд:

$$e_a = 1,03/(1 + c^2) + 0,188\text{В} \cdot c \cdot \ln[(1 - \exp(-2,4 \cdot c \cdot Q))] + (0,08 + 0,05 \cdot c) \cdot c \cdot Q + 4,5 \cdot c \cdot 10^{-3} \cdot \exp[4,25 \cdot c \cdot (Q - 3,64 \cdot c)]$$

де e_a - потенціал аноду, В; c - концентрація KBr , моль ; Q - кількість електрики анодної реакції, Кл. Це рівняння охоплює весь спектр потенціалів анодного процесу від стаціонарного до потенціалу виділення кисню і дозволяє істотно спростити керування процесами електрохімічної переробки золота та його покрить.

Приведені дані по якісному аналізу золота в зазначених електролітах. Для кожного типу розчинів експериментально підібрано реагент, що забезпечує протікання відновлюючої

реакції. Доведено існування іонів Au^{3+} у сірчаній кислоті, хлоридах і бромідах і відсутність їх у йодідах, що підтверджує висловлені раніше теоретичні припущення про природу іонів, що утворюються в даних розчинах. Для виділення золота у вигляді металу з усіх досліджених розчинів універсальним є метод контактного осадження за допомогою металів з високим негативним потенціалом.

ВИСНОВКИ

1. Вивчено теоретичні основи анодних процесів, що мають місце на золоті в сірчаній кислоті, хлоридах, бромідах та йодідах, із використанням поляризаційних і графоаналітичних методів, методу потенціостатичної хроноамперометрії, хронопотенціометрії та індивідуальних реакцій іонів.
2. Встановлено, що в 7,1 - 18,7 молярній сірчаній кислоті анодне розчинення золота зумовлено окисною здатністю недиссоційованих молекул вільної кислоти. Іонізації золота в умовах анодної поляризації передують хімічна активація електроду, адсорбція кисню й утворення поверхневого оксиду. Розчинення золота відбувається з утворенням іонів Au^{3+} , із спільним виділенням кисню і підпорядковується законамірностям змішаної кінетики.
3. Доведено активуючий вплив аніонів Cl^- і Br^- (до 1 моль/дм³) на анодне розчинення золота в нейтральних та кислих середовищах. Окислення золота відбувається до іонів Au^+ і Au^{3+} , що входять до складу комплексних солей лужних металів (K і Na). У хлоридних та бромідних електролітах спостерігається вплив анодної поляризації золота на природу лімітуючої стадії процесу. При малій поляризації (до 0,1В) активне розчинення золота протікає з електрохімічним контролем. При збільшенні анодної поляризації на золоті починається виділення вільних галогенів (Cl_2 , Br_2), які блокують робочу поверхню електроду. Це приводить до зміни виду контролю від електрохімічного - через змішаний - к дифузійному.
4. Порядок реакцій по аніонах Cl^- і Br^- дорівнює 1, що вказує на стадійний механізм анодного розчинення золота в хлоридних та бромідних електролітах. Вплив сірчаної кислоти виявляється не тільки в зниженні рН розчину, а також у конкуруючій адсорбції аніонів Cl^- , Br^- і SO_4^{2-} на поверхні золота та збільшенні розчинності продуктів окислення золота в електроліті.
5. Виявлено гальмування анодного розчинення золота в 0,1-1 М KI унаслідок його повного стримання окисними реакціями в системі $\text{I}^- / \text{I}_2 / \text{I}_3^-$, що протікають у тому ж інтервалі потенціалів, що й окислення золота, із змішаним контролем. Порядок анодних реакцій по аніонах I^- приблизно дорівнює 1. Виникнення граничних струмів у системі окислення йодиду пов'язано з формуванням навколо аноду шару з I_2 (водн.).
6. Вивчено анодну поведінку мідних і нікелевих основ під золоті покриття. Активне розчинення їх у концентрованій сірчаній кислоті лімітується стадією дифузії молекул води до поверхні електроду, а пасивація в широкій області потенціалів пов'язана з формуванням окисно-сольової плівки. Розчинення нікелю в галогенідних середовищах визначається розчинністю відповідних солей. Для анодного розчинення міді властиве утворення іонів Cu^+ і Cu^{2+} (крім йодидів, в яких утворюється Cu^+) і виділення вільних галогенів, що забезпечують гальмування анодних реакцій.

7. Розроблено оптимальні склади електролітів і режими електролізу для рафінування золота в хлоридно-сульфатних і бромидно-сульфатних електролітах. Отримано рівняння впливу кількості електрики і концентрації бромиду на потенціал аноду. Розроблено технологію анодного розчинення золотих покриттів, осаджених на бронзу і нікель-кобальтові сплави, у сірчаній кислоті та хлоридно-сульфатних розчинах. Проведення процесу в гальвано- або потенціостатичному режимі з автоматичним контролем напруги або струму дозволяє фіксувати момент зняття покриття.
8. На основі корозійних випробувань зразків встановлено, що бромидні та йодидні розчини є селективними стосовно благородних металів. Швидкість корозії в них золота висока і складає 0,02 - 0,85 г/дм²Чг, що створює передумови для використання цих розчинів із метою хімічної переробки золотовмісної сировини.
9. Вивчено катодний процес виділення золота на нікелеву основу з йод-йодидно-сульфатного електроліту. Розроблено склад електроліту і гальваностатичний режим осадження з наступним механічним відділенням золота від основи у виді фольги.
10. Запропонована технологія переробки золота відрізняється техніко-економічною ефективністю, різноманітністю методів у залежності від поставлених задач, та витримала дослідно - промислову апробацію на АТ УкрСіб ВДМ, де рекомендована до впровадження у виробництво.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

1. Байрачный Б.И., Дерибо С.Г., Гартштейн О.Л., Желавская Ю.А. Механизм анодных реакций на золоте, меди, никеле и кобальте в растворах серной кислоты. // Вопросы химии и химической технологии, 1999. - N1. - С.28-29.
2. Гартштейн О.Л., Байрачный Б.И. Влияние бромидов на скорость анодного растворения золота в серной кислоте. // Вестник ХГПУ. - Выпуск 39, ХГПУ 1999. - С.41-43.
3. Гартштейн О.Л., Коваленко Ю.И., Байрачный Б.И.. Технологические параметры электрохимической переработки золота в сульфатно-галогенидных растворах. // Вестник ХГПУ. - Выпуск 90, ХГПУ, 1999. - С.57-59.
4. Смирнова О.Л. Перспективы использования иодидных растворов для регенерации золота из золотосодержащего вторичного сырья. // Вестник ХГПУ. - Выпуск 115, ХГПУ, 2000. - С.91-94.
5. Байрачный Б.И., Гартштейн О.Л.. Анодное поведение золота в растворах серной кислоты. // Защита металлов, 1997. - Т.33, N3. - С.319-320.
6. Байрачный Б.И., Гартштейн О.Л., Желавская Ю.А., Дерибо С.Г. Анодное растворение покрытий золота на подложках из кобальта, медных и никель - кобальтовых сплавов. // Гальванотехника и обработка поверхности, 1998. - Т. VI, N2. - С.32-35.
7. Байрачный Б.И., Дерибо С.Г., Гартштейн О.Л., Желавская Ю.А. Кинетика анодных реакций на меди, золоте и кобальте в серной кислоте. Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье: Тр. междунар. науч.-техн. конф., Харьков, 12-14 мая 1997г. В пяти частях. Ч.4. - Харьков, Мишкольц, Магдебург: Харьк. гос. политехн. ун-т, Мишкольц. ун-т, Магдебург. ун-т, 1997. - 448с.
8. Гартштейн О.Л., Байрачный Б.И. Анодные реакции в системах золото - раствор серной кислоты с галогенидами. Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье: Сборник научных трудов ХГПУ. Вып.6. В четырех частях. Ч.3. - Харьков: Харьк. гос. политехн. ун-т, 1998. - С.51-53.
9. Байрачный Б.И., Ляшок Л.В., Гартштейн О.Л., Желавская Ю.А. Анодное растворение

золота и его сплавов при переработке вторичного сырья. // Сборник информационных материалов второй международной конференции "БРМ-97". - Донецк, 1997. - Ч.1. - С.107-108.

10. Гартштейн О.Л., Байрачный Б.И., Желавская Ю.А.. Анодное растворение золота и кобальта в растворах серной кислоты. // Укр. хим. журн., 1997. - Т.63, N12. - С.129-132.

Анотації

Смирнова О.Л. Анодные процессы на золоте в галогенидно-сульфатных растворах. - Рукопись.

Диссертация на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.03 - технічна електрохімія, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, 2001р.

Диссертация посвящена анодному растворению золота в электролитах на основе серчаной кислоты та галогенидів (хлоридів, бромидів, йодидів). У роботі наведені результати дослідження процесів, які мають місце на золоті у відсутності та в контакті з міддю і нікелем. Встановлен активуючий вплив концентрованої сірчаної кислоти (більше ніж 7 моль/дм^3) та аніонів Cl^- , Br^- (до 1 моль/дм^3) на електрохімічну поведінку золота. Отримані дані по вивченню кінетиці та механізму анодних процесів, а також результати корозійних випробувань золота і металів основи під золоті покриття в галогенидно-сульфатних середовищах. Це сприяло розробці ефективної технології електрохімічного рафінування, вилуження золота, переробки дорогоцінного металу з вторинної сировини.

Ключові слова: золото, анодне розчинення, електроліт, потенціал, анодна густина струму, активація, пасивація.

Смирнова О.Л. Анодные процессы на золоте в галогенидно-сульфатных растворах. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.03 - техническая электрохимия, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", Харьков, 2001г.

Диссертация посвящена анодному растворению золота в электролитах на основе серной кислоты и галогенидов (хлоридов, бромидов, иодидов). В работе приведены результаты исследования процессов, протекающих на золоте в чистом виде и в контакте с медью и никелем.

Электрохимическое растворение золота в серной кислоте изучалось при концентрации ее $7,1-18,7 \text{ моль/дм}^3$ в интервале потенциалов $2,1-2,5\text{В}$ и плотностей тока $0,5-5 \text{ А/дм}^2$. Оно обусловлено наличием окислительных свойств у недиссоциированных молекул свободной кислоты. Ионизация золота происходит до Au^{3+} и сопровождается выделением на его окисленной поверхности кислорода.

Установлено активирующее воздействие анионов Cl^- , Br^- (до 1 моль/дм^3) на состояние золотого электрода в условиях анодной поляризации. Ионизация золота в соляной кислоте, хлоридах и бромидов происходит стадийно до ионов Au^{3+} , которые входят в состав комплексных солей щелочных металлов (К и Na). Наблюдается влияние анодной поляризации золота на природу лимитирующей стадии процесса. Это выражается в изменении вида контроля от электрохимического - через смешанный - к диффузионному. Влияние серной кислоты проявляется в увеличении растворимости

продуктов окисления золота в электролите.

Выявлено торможение анодного растворения золота в 0,1-1 М КІ вследствие его полного подавления окислительными реакциями в системе $I^- / I_2 / I_3^-$, протекающими в том же интервале потенциалов, что и окисление золота, со смешанным контролем. На основе коррозионных испытаний образцов установлено, что бромидные и иодидные растворы обладают селективностью по отношению к благородным металлам. Скорость коррозии в них золота высока и составляет 0,02 - 0,85 г/дм²Чч, что создает предпосылки для использования этих растворов в целях вторичной переработки золотосодержащего сырья. Изучен катодный процесс выделения золота на никелевую основу из йод-иодидно-сульфатного электролита. Разработан состав электролита и гальваностатический режим осаждения с последующим механическим отделением золота от основы в виде фольги.

Изучено электрохимическое поведение медных и никелевых подложек под золотые покрытия в аналогичных рассмотренным выше растворах. Это позволило разработать технологию анодного растворения покрытий золота, осажденных на бронзу и никель-кобальтовые сплавы, в серной кислоте и хлоридно-сульфатных растворах. Проведение процесса в гальвано- или потенциостатическом режиме с автоматическим контролем регистрируемого параметра (напряжения или тока) позволяет фиксировать момент снятия покрытия.

Разработаны оптимальные составы электролитов и режимы электролиза для рафинирования золота в хлоридно-сульфатных и бромидно-сульфатных электролитах. Преимущество хлоридно-сульфатного раствора состоит в использовании менее дефицитных компонентов, а также в сочетании более высокой скорости растворения золота (до 21 г/дм²Чч) и выхода по току 95%. К достоинству бромидно-сульфатного электролита относится достаточно высокая скорость растворения при 99-100%-ном ВТ для золота.. Получено уравнение влияния количества электричества и концентрации бромида на потенциал анода, которое позволяет вести электролиз без выделения токсичного брома.

Ключевые слова: золото, анодное растворение, электролит, потенциал, анодная плотность тока, активация, пассивация.

Smirnova O.L. Anodic Processes on Gold in Halogenide-Sulfate Solutions. - Manuscript.

The dissertation on competition of technical science candidate degree on a speciality 05.17.03 - Technical Electrochemistry, National Technical University "Kharkov Polytechnical Institute", Kharkov, 2001.

The dissertation is devoted to anodic dissolution of gold in electrolytes on a basis of a sulfuric acid and halogenides (chlorides, bromides, iodides). The results of research of processes occurring on gold in the pure state and in contact with copper and nickel are given in work. Activating influence of the concentrated sulfuric acid (more than 7 M) and Cl^- , Br^- anions (up to 1 M) on electrochemical behaviour of gold is established. The data on study of a kinetics and mechanism of anodic processes, and results of corrosion tests of gold and undercoat metals in halogenide- sulfate medium are received. It has enabled to work out the effective technology of the electrochemical refining, leaching of gold, recovery of precious metal from secondary raw material.

Keywords: gold, anodic dissolution, electrolyte, potential, anodic current density, activation,

passivation.