

کنترل پارامترهای مؤثر در بازیابی پودر کاربید تنگستن از طریق مطالعه منحنی‌های پلاریزاسیون

اکبر قادری نجف‌آبادیⁱ؛ رسول صراف مأموریⁱⁱ

چکیده

بازیابی عناصر تشکیل دهنده ابزار برشی؛ یعنی کاربید تنگستن و کبالت، دیر زمانی است که آغاز شده است و در حال حاضر حدود ۳۵ درصد از قراضه‌های کاربید سمانته تولیدی بازیابی می‌شوند. عموماً بازیابی این قراضه‌ها با روش روی مذاب انجام می‌شود. در این تحقیق، قراضه‌های کاربید تنگستن سمانته به منظور انحلال بایندر کبالت و بازیابی کاربید تنگستن تحت عمل انحلال الکترولیتی انتخابی قرار گرفت. به کمک رسم منحنی‌های پلاریزاسیون خطی، پارامترهای مربوط به الکترولیت، مواد افزودنی، دانسیته جریان، دما و زمان مطالعه و بهترین شرایط برای الکترولیز انتخابی عوامل تشکیل دهنده کاربیدهای سمانته تعیین شد.

کلمات کلیدی

بازیابی، الکترولیز انتخابی، کاربید تنگستن، کاربید سمانته، کبالت.

Controlling of the Effective Parameters in Recovery of Tungsten Carbide Powder via Polarization Curves Study

A . GHADERI NAJAF ABADI ; R . SARRAF- MAMOORY

ABSTRACT

Recovery of elemental components of cutting tools, i.e. WC and Co is started from last decade. At the moment, about 35 percent of produced cemented carbide scraps are recovered. Usually, recovery of these scraps is carried out using melted zinc.

In this research, the cemented tungsten carbide scraps were dissolved by selective electrolytic process. By plotting linear polarization curves, different parameters such as electrolyte, additives, current density, time, and temperature were studied and the best conditions for selective electrolysis of cemented carbides components were determined.

KEYWORDS

RECYCLING, SELECTIVE ELECTROLYSIS, CEMENTED CARBIDE, COBALT.

ⁱ دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه سرامیک، بخش مهندسی مواد، دانشگاه تربیت مدرس

ⁱⁱ عضو هیات علمی، گروه سرامیک، بخش مهندسی مواد، دانشگاه تربیت مدرس : rsarrafm@modares.ac.ir

انجام فرایند که هر یک از آنها به نوبه خود بر روند فرایند مؤثر است [۴]، [۵].

آنچه در این تحقیق به آن پرداخته می‌شود استفاده از منحنی‌های پلاریزاسیون خطی در تعیین بهترین حالات این پارامترهاست که با به کارگیری دستگاه پتانسیواستات انجام شده است و سپس بررسی این خواص از طریق انحلال الکترولیتی انتخابی می‌باشد و در نوع خود کار جدیدی محسوب می‌شود.

۲- مراحل آزمایشگاهی

دو نوع قراضه کاربید سمانته به صورت ماده خام برای آزمایش‌های این پژوهش به کار برده شد. این قراضه‌ها از انواع برگشتی‌های تولید شده به وسیله شرکت تولید ابزار برشی ایران (تابا) بودند و ترکیب این قراضه‌ها در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱): ترکیب گریدهای قراضه مورد استفاده

Co	TiC	TaC	WC	ترکیب (wt%) گرید (ISO)
۶	۰/۵	۲	۹۱/۵	K10
۸	۸	۱۲	۷۲	M30

گرید (ISO) K10 (TH10(TABA))، مرکب از کاربید تنگستن به همراه مقادیری بایندر کبالت و کاربیدهای افزودنی دیگر (کاربید تیتانیم و کاربید تانتالیم) و گرید (ISO) M30 (UX30(TABA)) شامل مقادیر قابل توجهی از کاربید تیتانیم و کاربید تانتالیم است. توزیع اندازه ذرات کاربیدها در این نمونه‌ها برطبق استاندارد (ASTM B390-86, 1986) معین شده است و نشان می‌دهد که اندازه ذرات کاربید در گستره ۰/۲۵ تا ۶/۰ میکرومتر است. برای مطالعات منحنی‌های پلاریزاسیون، از یک مجموعه دستگاه پتانسیواستات / گالوانواستات EG&G model 273A و متعلقات آن شامل کامپیوتر؛ که با نرم افزار 352Softcorr III هدایت آزمایش‌ها را برعهده داشت، و یک سلول سه الکترودی یک لیتری استفاده شد.

قطعات قراضه درون این سلول به صورت الکترودی کاری به کار رفت. به این منظور یک سیم مسی به هر قطعه قراضه مورد آزمایش لحیم شد و سپس قطعه قراضه به وسیله رزین متیلن متاکریلات (با نام تجاری Lecoset 700) ، مانع سرد شد تا سطح

سالانه بیش از صدها میلیون تن پسماندهای صنعتی و معدنی ناشی از منابع تولیدی و معادن موجود در جهان تولید می‌شود. این مواد شامل سرباره‌ها، قراضه‌ها، غبارات و خاکسترهای صنعتی، لجن‌ها و گل‌ولای، باطله‌ها، نخاله‌ها و برگشتی‌ها، محلول‌ها و گازهاست. برخی از این مواد به طور مطلوب و مؤثر بازیابی می‌شوند و تحقیقات جهانی در مورد بازیابی مواد دیگر در حال توسعه است [۱].

در این میان، بازیابی موفقیت‌آمیز فلزات استراتژیک و بحرانی از پسماندهای صنعتی، علاوه بر سود و منفعت اقتصادی ناشی از کاهش هزینه‌های تولید، حجم پسماندهای صنعتی را؛ که به خاطر زیست محیطی باید نابود شوند به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد و این مساله اهمیت این موضوع را دو چندان می‌کند. هزینه بالایی که برای از بین بردن پسماندها و دفن آنها مصرف می‌شود و کاهش منابع فلزات استراتژیک و ارزشمندی که در آنها وجود دارد، توجه و اهمیت زیادی را به خود جلب کرده است [۱]. از سال ۱۹۲۶ میلادی که کاربید تنگستن سمانته ساخته شد و شروتر (Shorter) اعضای گروه آهن (آهن، نیکل و کبالت) را به صورت بایندر برای کاربرد در ساخت کاربیدهای سمانته استفاده کرد، بحث بازیابی این مواد از قراضه‌های قطعات استفاده شده، مطرح بوده است [۲].

امروزه قطعات کاربید تنگستن حدود ۶۵ درصد از پودر تنگستن مصرفی در جهان را به خود اختصاص داده است و لذا بازیابی عناصر متشکله این گونه قطعات از اهمیت خاصی برخوردار است. گزارش‌های موجود نشان می‌دهد که حدود ۲۵ درصد از قراضه‌های کاربید سمانته تولیدی جهان بازیابی می‌شوند [۱].

در مطالعات محققین، روش‌های مختلفی برای بازیابی تنگستن و کبالت از قراضه‌های کاربیدی گزارش شده است که مهم ترین آنها روش انحلال الکترولیتی انتخابی قراضه‌های کاربیدی است که در دهه گذشته مطالعات زیادی را به سوی خود جلب کرده است [۳]، [۴]. در این روش، پارامترهای گوناگونی برای این بازیابی مطالعه شده است که مهم ترین آنها عبارتند از خصوصیات پودر اولیه مصرف‌شده برای تولید کاربید سمانته و مشخصات عوامل مؤثر بر بازیابی همچون ترکیب، غلظت، اسیدیته، pH الکترولیت مصرفی و نیز مواد افزودنی، دانسیته جریان، ولتاژ، جنس کاتد و آند، دما و زمان مورد نیاز برای

مورد نظر به صورت الکتروود کاری در معرض محیط الکتروولیز قرار گیرد. سپس به منظور تهیه یک سطح جدید، قطعات مانع شده طبق روش استاندارد (ASTM B665-92, 1992, ASTM B276-91, 1991) پولیش و پس از آن به وسیله دستگاه تمیزکننده التراسونیک به طور فراصوتی در الکل تمیز و پیش از قرار گرفتن در سلول الکتروولیز با آب مقطر شستشو شدند. الکتروود شمارگر (کمکی) یک الکتروود پلاتینی و الکتروود مرجع، یک الکتروود کالومل اشباع شده استاندارد (SCE) بود.

سلول آزمایش با یک لیتر الکتروولیت مورد نظر (شامل اسیدهای کلریدریک، سولفوریک، نیتریک و فسفریک با غلظت‌های ۰/۱، ۰/۵، ۱، ۳ و ۵ نرمال) پر شد و به وسیله یک همزن مغناطیسی تفلون پوش شده تجهیز شد. روند پلاریزاسیون خطی به وسیله دستگاه پتانسیوستات و نرم افزار مربوطه کنترل شد. آزمایش‌ها تحت شرایط و پارامترهای مختلف انجام و نتایج حاصل ثبت و جمع آوری شد. پس از هر آزمایش مورفولوژی قراضه‌ها به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) آزمایش و محلول الکتروولیت حاصل در هر آزمایش برای بررسی میزان عناصر حل شده در آن به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی (AAS)، آنالیز شد.

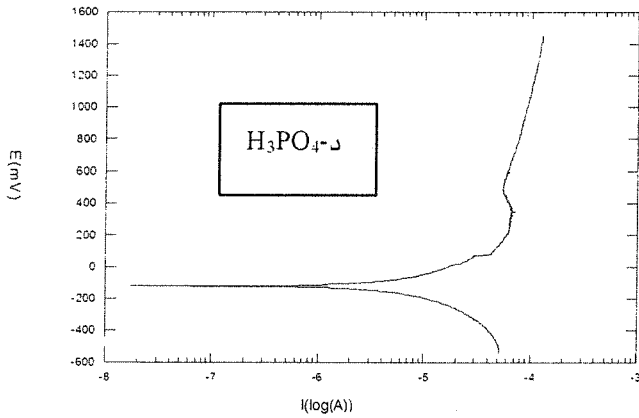
فرایند الکتروولیز قطعات قراضه در پتانسیل ثابت، درون یک سلول یک لیتری که حاوی ۸۰۰ cc الکتروولیت (اسیدکلریدریک یک نرمال) بود، انجام شد. در هر دوره آزمایش، ابتدا سلول الکتروولیز به وسیله محلول الکتروولیت پر می‌شد. قبل از هر آزمایش، مقادیر قراضه مورد نظر به وسیله دستگاه تمیز کننده التراسونیک به صورت فراصوتی با استن شستشو و سپس با آب مقطر شستشو و خشک و پیش از قرار گرفتن درون محلول الکتروولیز وزن می‌شدند. پس از این مرحله قطعات قراضه توزین شده درون یک سبد آندی تیتانیومی ریخته می‌شدند و سبد درون محلول الکتروولیت قرار می‌گرفت. یک صفحه فولادی به عنوان کاتد به کار رفت و قبل از هر آزمایش با کاغذ سمباده شماره ۴۰۰ و سپس با یک سری کاغذ سمباده با شماره بالاتر تا سمباده شماره ۱۲۰۰ صیقل داده می‌شد و پس از آن با آب مقطر شستشو و سپس خشک و قبل از قرارگیری در سلول الکتروولیز توزین می‌شد. پس از قرارگیری سبد آندی و صفحه کاتدی درون سلول الکتروولیز، مجموعه به وسیله اتصالات الکتریکی به منبع جریان مستقیم متصل شده و تحت شرایط مورد نظر و پتانسیل ثابت، آزمایش‌ها در مدت زمان مورد نظر (وابسته به آزمایش مورد نظر تا حداکثر ۸ ساعت) کنترل و اداره می‌شد. در این آزمایش‌ها در

صورت نیاز به تلاطم و به هم زدن محلول الکتروولیت یا تغییر دمای آن از یک دستگاه همزن / گرم کننده هم استفاده می‌شد. پس از هر دوره آزمایش، قطعات قراضه و صفحه کاتد از سلول خارج و خشک و سپس وزن شده و نتایج ثبت می‌شد. در آزمایش‌های مربوط به استحصال پودر از قطعات قراضه، پس از هر دوره آزمایش، چون ذرات کبالت از قطعات قراضه خارج شده‌اند، بنابراین ذرات سست کاربرد می‌توانند به آسانی به وسیله آسیاب کاری شکسته شوند. برای عملیات آسیاب کاری از تکنیک خودسایش کاری استفاده شد و پس از اتمام دوره آسیاب کاری؛ که معمولاً ۸ تا ۱۲ ساعت بود، پودر به دست آمده و مواد باقیمانده، از درون ظرف خارج می‌شدند. سپس پودر به دست آمده از میان سری الک‌ها عبور داده می‌شد و دانه بندی شده و تحت آزمایش‌های آنالیز فازی و عنصری و مشاهده مورفولوژی به وسیله میکروسکوپ الکترونی قرار می‌گرفت.

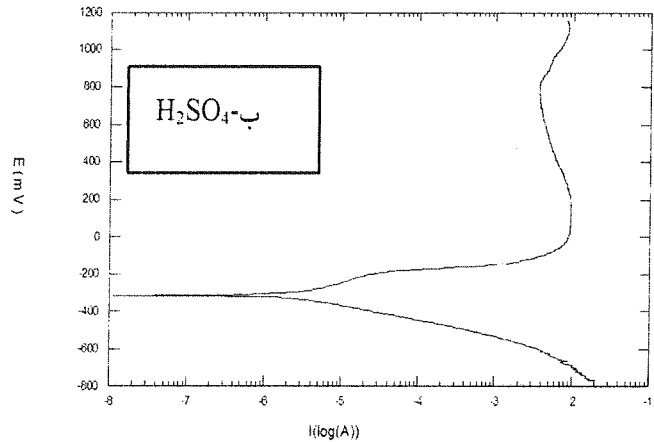
۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی تأثیر نوع الکتروولیت

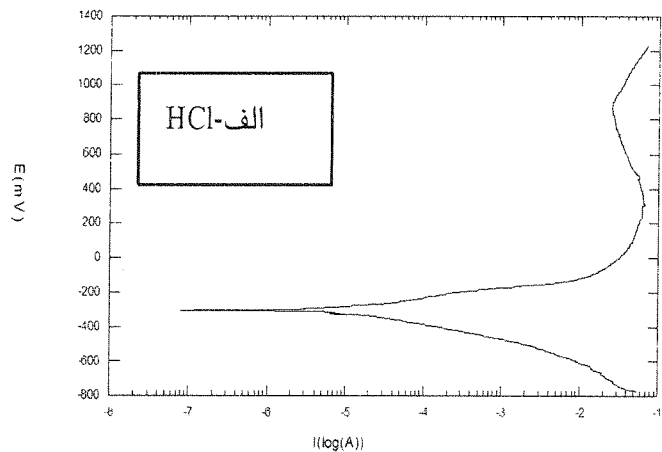
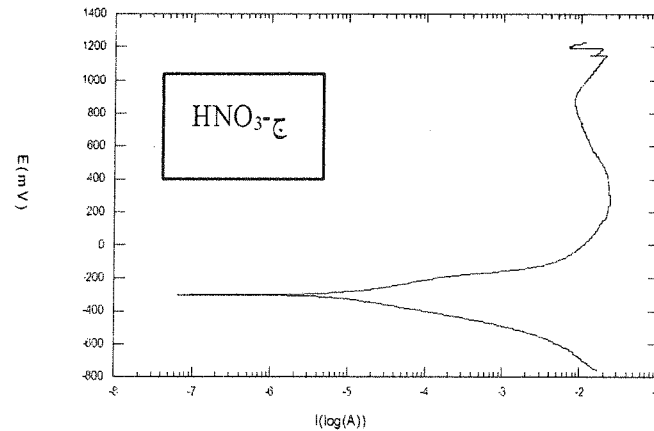
نتایج حاصل از آزمایش‌های پتانسیوستاتیک بر روی نمونه‌های آزمایش، به صورت منحنی‌های پلاریزاسیون خطی ارائه شد. شکل‌های (۱- الف) تا (۱- د) منحنی‌های پلاریزاسیون جریان خطی تافل برای قراضه M30 در محلول‌های اسید کلریدریک، اسید سولفوریک، اسید نیتریک و اسید فسفریک یک نرمال را نشان می‌دهد. همه این منحنی‌های پلاریزاسیون یک رفتار فعال - غیرفعال را نشان می‌دهند. همان گونه که در این منحنی‌ها مشاهده می‌شود، در پتانسیل‌های پایین، قراضه در حالت فعال است، جایی که دانسیته جریان آندی (i_{ac}) با افزایش پتانسیل، افزایش می‌یابد و به یک ماکزیمم (که با i_{crit} نشان داده می‌شود) در پتانسیل فلید (Flade Potential) می‌رسد. پتانسیل فلید، پتانسیلی است که در آن سطح یک نمونه در مجاورت یک الکتروولیت از حالت فعال به غیر فعال و یا برعکس تبدیل می‌شود. در پتانسیل‌های بالاتر از پتانسیل فلید، نمونه غیرفعال می‌شود. آنچه از منحنی‌ها نتیجه می‌شود آن است که پس از رسیدن به پتانسیل فلید، دانسیته جریان به طور ناگهانی کاهش می‌یابد که مقدار آن با i_{pass} نشان داده می‌شود. i_{pass} در گستره معینی از پتانسیل، ثابت باقی می‌ماند. با افزایش پتانسیل از این حد، قراضه از حالت غیرفعال خارج می‌شود و به منطقه فوق رویین شدن وارد می‌شود و انحلال آندی دوباره افزایش می‌یابد.



شکل (۱): منحنی های پلاریزاسیون خطی قراضه M30 در اسیدهای مختلف یک نرمال در دمای ۲۵°C



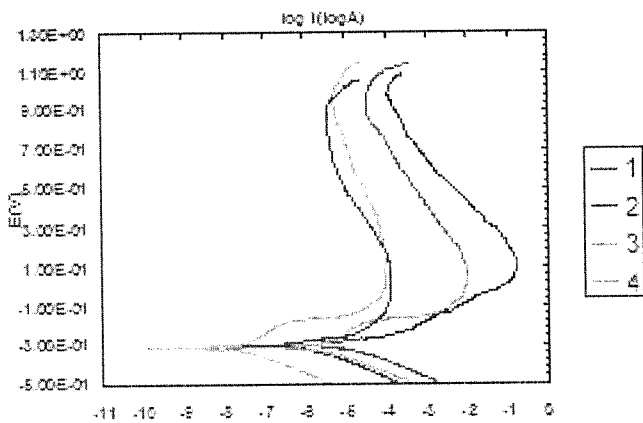
از این شکل ها می توان دریافت که دانسیته جریان آندی در حالت فعال (حدوداً در ۰/۲۰۰V)، دارای ترتیب $HCl > HNO_3 > H_2SO_4 > H_3PO_4$ است. در برابر، ترتیب برای قراضه در حالت غیرفعال $HCl > H_3PO_4 > H_2SO_4 = HNO_3$ است. قراضه از نوع K10 هم، رفتار مشابهی نشان داد. از نتایج این مطلب استنباط می شود که هرچه i_{crit} ، i_{pass} و پتانسیل فلید بزرگ تر باشد، آند مشکل تر، غیرفعال می شود و بنابراین فرایند تجزیه اسیدی راحت تر رخ می دهد. تشکیل کمپلکس های قابل حل به وسیله Co و W به ترتیب با Cl^- و PO_4^{3-} با پدیده بالا موافق است. بنابراین با توجه به نمودارهای پلاریزاسیون خطی تافل و بالا بودن i_{pass} ، i_{crit} و پتانسیل فلید در نمودارهای پلاریزاسیون خطی تافل در مورد HCl، این اسید بهترین الکترولیت برای فرایند انحلال قراضه ها است. شکل (۲)، تغییرات i_{act} ، i_{crit} و i_{pass} قراضه M30 را برحسب غلظت HCl نشان می دهد. i_{act} در ۰/۲۰۰V، i_{crit} در ۰/۴۰۰ و i_{pass} در ۰/۸۰۰V اندازه گیری شد. در شکل (۲)، هر دو i_{act} (منحنی ۱) و i_{crit} (منحنی ۲)، با افزایش غلظت از ۰/۱ تا ۵ نرمال، به سرعت تا یک سطح معینی افزایش می یابند و سپس کاهش می یابند و این درحالی است که i_{pass} (منحنی ۳) به طور پیوسته و یکنواخت کاهش می یابد. نوسانات i_{act} نسبت به تغییرات i_{crit} بزرگ تر بود. i_{act} در محلول رقیق (کمتر از ۰/۵ نرمال) مقدار خیلی کوچکی است که این مسأله به دلیل کم بودن غلظت اسید است، در صورتی که i_{act} کوچک تر در محلول های غلیظ (بزرگ تر از ۳ نرمال)، به علت تشکیل کلریدهای غیرمحلول است که از حل شدن کبالت جلوگیری می کند. از شکل (۲) می توان دریافت که حل شدن قراضه ها در اسید کلریدریک در غلظت یک تا ۳ نرمال بهتر صورت می گیرد.



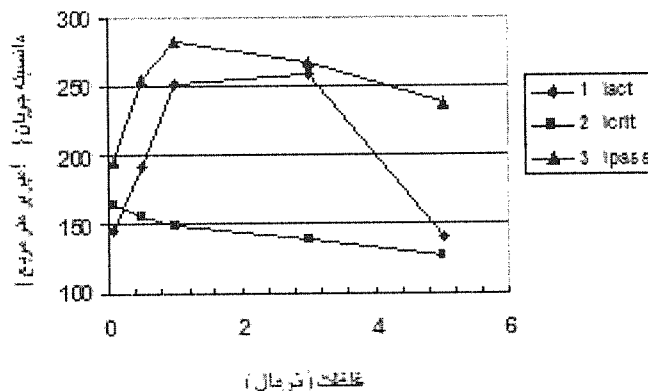
ترکیبی برای کبالت و تنگستن هستند و با حضور اسید سیتریک و اسید استیک با آنها ترکیب می‌شوند و دی‌پسیو شدن اتفاق نمی‌افتد.

۳-۳- تغییرات جریان آندی با زمان

شکل (۴) تغییرات جریان آندی با زمان برای الکترولیز قراضه K10 در پتانسیل‌های ثابت ۰/۴۰۰ و ۰/۶۰۰ ولت در محلول‌های یک نرمال HCl همراه و بدون ۰/۱ مول اسیدسیتریک را نشان می‌دهد. در غیاب اسید سیتریک، جریان با شیب زیادی در ۱۰ ساعت اول کاهش می‌یابد و سپس به تدریج در ادامه کم می‌شود (منحنی‌های ۱ و ۲). اندازه جریان برای قراضه الکترولیز شده در ۰/۶۰۰ V (منحنی ۱) نسبت به مقدار آن در ۰/۴۰۰ V کوچک تر است (منحنی ۲) که دلیل آن، این است که غیرفعال شدن در اولی خیلی آسان تر است. همچنین انجام الکترولیز با پتانسیل ثابت در حضور اسید سیتریک، جریان بزرگ تر و کاهش با شیب کمتری را در پی داشت. با مقایسه منحنی‌های ۲ و ۴ در شکل (۴)، جریان برای الکترولیز در ۰/۶۰۰ V (منحنی ۳) نسبت به جریان در ۰/۴۰۰ V (منحنی ۴)، کوچک تر بود. به طور کلی هنگامی که عمل الکترولیز در ۰/۶۰۰-۰/۲۰۰ V در اسیدکلریدریک یک نرمال حاوی ۰/۱ مول اسید سیتریک انجام شد، انحلال انتخابی بایندر کبالت از قراضه، موثر و کافی بود.



شکل (۳): منحنی‌های پلاریزاسیون خطی قراضه M30 در $2N H_3PO_4$ بدون افزودنی: ۱. بدون افزودنی: ۰/۲. ۲. مول اسید استیک: ۰/۲. ۳. مول اسید استیک و ۰/۱ مول اسید سیتریک: ۰/۱. ۴. مول اسید سیتریک



شکل (۲): تغییرات i_{act} , i_{crit} , i_{pass} قراضه M30

بر حسب غلظت HCl

۳-۲- تأثیر مواد افزودنی بر جلوگیری از غیرفعال شدن آندی قراضه

نتایج حاصل از افزودن عوامل ترکیبی اسید استیک و اسید سیتریک به منظور کاهش غیرفعال شدن آندی قراضه به صورت زیر است. در محلول‌های اسید کلریدریک، اسید نیتریک و اسید سولفوریک حاوی افزودنی‌ها، هیچ مزیتی مربوط به دانسیته جریان‌های (i_{act} , i_{crit} , i_{pass})، به جز یک افزایش جزئی و مختصر در پتانسیل فیلد ملاحظه نشد و منحنی‌های پلاریزاسیون خطی تافل تقریباً مشابه بود؛ ولی تغییرات در اثر افزایش افزودنی‌ها در اسید فسفریک قابل توجه بود.

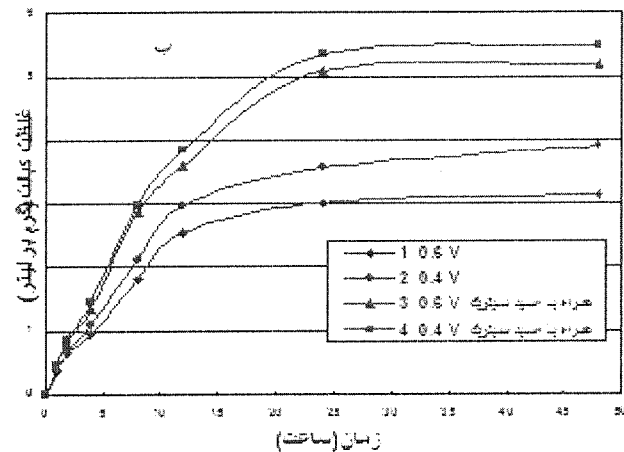
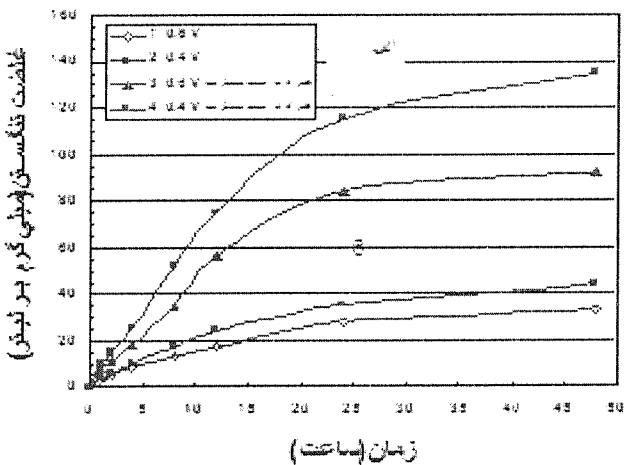
در شکل (۳) وجود اسید سیتریک و اسید استیک در محلول اسید فسفریک نه تنها دانسیته جریان‌ها را افزایش می‌دهد؛ بلکه پتانسیل فلید را نیز افزایش می‌دهد. این مساله بر آن اشاره دارد که قراضه‌ها به وسیله افزایش افزودنی‌ها در اسید فسفریک دی‌پسیو می‌شوند. مطابق شکل (۳) دی‌پسیو شدن در محلول اسید فسفریک در حضور اسیدسیتریک و اسید استیک (منحنی ۳)، کمتر از دی‌پسیو شدن در محلول اسیدفسفریک در حضور اسید سیتریک (منحنی ۴) است. ولی اثر استفاده تنها از اسید استیک (منحنی ۲) نسبت به اسید فسفریک عاری از افزودنی‌ها (منحنی ۱) جزئی و مختصر است. مقدار i_{act} (نشان‌دهنده سرعت انحلال) قراضه در اسید فسفریک ۲ نرمال حاوی ۰/۱ مول اسید سیتریک با مقدار i_{act} در محلول یک نرمال اسید کلریدریک برابری می‌کند. اگرچه اسید فسفریک یک اسید ضعیف است، این مساله می‌تواند به این دلیل باشد که یون‌های Cl^- و PO_4^{3-} به ترتیب عوامل

برای کبالت بیشتر است.

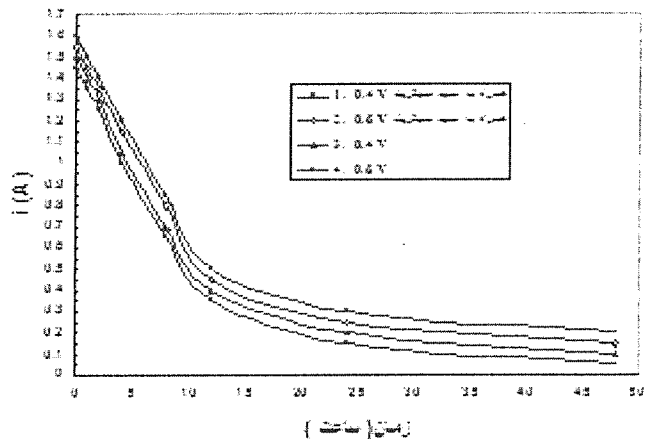
در این آزمایش‌ها مشاهده می‌شود که یک انحلال انتخابی در مورد کبالت حفظ شده است؛ زیرا غلظت کبالت نسبت به غلظت تنگستن در محلول الکترولیز به جا مانده در پایان هر آزمایش خیلی بزرگ تر است. در آزمایش‌های انجام گرفته بر روی قراضه M30 هم در ارتباط با انحلال کبالت و تنگستن رفتار مشابهی دیده شد.

۳-۵ - نتایج آنالیز پودر حاصل از آسیاب‌کاری

پودر حاصل از آسیاب‌کاری، عمده محصول حاصل از بازیابی را تشکیل می‌دهد و در هر دوره بازیابی بیش از ۷۰ درصد از مقدار کاهش یافته از وزن قراضه تحت عملیات به این صورت استحصال می‌شود.



شکل (۵-الف و ب): تغییرات غلظت کبالت و تنگستن با زمان برای قراضه K10 الکترولیز شده در محلول یک نرمال اسید کلریدریک در دو پتانسیل ۰/۴۰۰ و ۰/۶۰۰ ولت همراه و بدون ۰/۱ مول اسیدسیتریک



شکل (۴): تغییرات جریان آندی با زمان برای الکترولیز قراضه K10 در پتانسیل‌های ثابت ۰/۴۰۰ و ۰/۶۰۰ ولت در محلول‌های یک نرمال HCl همراه و بدون ۰/۱ مول اسیدسیتریک

افزودن ۰/۲ مول اسید استیک به اسید فسفریک ۲ نرمال هم جریان آندی قراضه در ۰/۴۰۰ و ۰/۶۰۰ ولت را زیاده‌تر می‌کند؛ ولی جریان آندی برای این سیستم نسبت به جریان آندی برای سیستم اسیدکلریدریک، کوچک تر بود. قراضه M30 هم رفتار مشابهی را در آزمایش‌ها نشان داد.

۳-۴ - نتایج آزمایش‌های انحلال کبالت و تنگستن

شکل (۵-الف و ب) به ترتیب، تغییرات غلظت کبالت و تنگستن با زمان برای قراضه K10 الکترولیز شده در محلول یک نرمال اسیدکلریدریک در دو پتانسیل ۰/۴۰۰ و ۰/۶۰۰ ولت همراه و بدون ۰/۱ مول اسید سیتریک را نشان می‌دهد. غلظت کبالت (برحسب g/lit) در محلول نسبت به غلظت تنگستن (برحسب mg/lit) در محلول در حین الکترولیز خیلی بیشتر است. بنابراین استنباط می‌شود که بایندر کبالت به طور انتخابی از قراضه‌ها حل می‌شود. شیب منحنی‌ها نشان دهنده سرعت انحلال فلز در قراضه است. در شکل (۵-الف)، شیب منحنی‌های ۳ و ۴ نسبت به شیب منحنی‌های ۱ و ۲ بزرگ تر است، بنابراین انحلال کبالت در حضور ۰/۱ مول اسید سیتریک سریع‌تر می‌شود. در الکترولیز ۱۲۱g از قراضه K10 در پتانسیل ثابت ۰/۴۰۰ ولت به مدت ۴۸ ساعت ۲/۹۱g کبالت (۵۰ تا ۶۰ درصد بایندر) در محلول عاری از افزودنی اسید سیتریک حل شد. از طرف دیگر ۵/۴۸g کبالت (۸۰ تا ۹۰ درصد بایندر) در محلول در حضور اسید سیتریک حل شد. شکل (۵-ب)، تأثیر مشابه اسید سیتریک بر انحلال تنگستن را نمایش می‌دهد. در مقایسه شکل‌های (۵-الف و ب)، سرعت انحلال تنگستن یک تأخیر زمانی را نشان می‌دهد که این تأخیر

ع - نتیجه

در پایان این پژوهش، موارد ذیل به عنوان نتیجه‌گیری عنوان می‌شود:

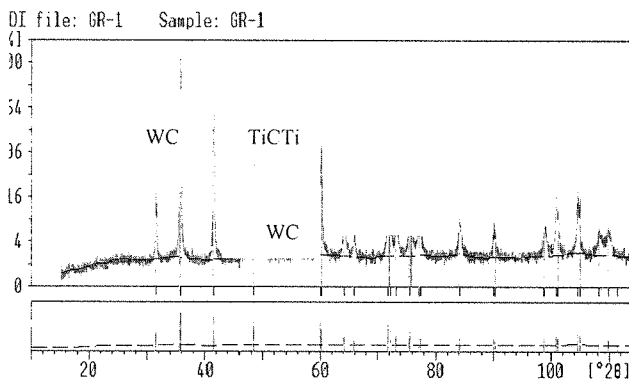
۱- الکترولیز انتخابی در محلول‌های اسیدی یک فرایند بالقوه برای بازیابی قراضه کاری مناسب و پتانسیل‌های مطلوب است.

۲- منحنی‌های پلاریزاسیون خطی می‌تواند وسیله‌ای برای انتخاب یک الکترولیت مناسب و پتانسیل‌های مطلوب باشد.

۳- در این کار، الکترولیت اسید کلریدریک یک نرمال حاوی ۰/۱ مول اسید سیتریک به عنوان الکترولیت مناسب پیشنهاد می‌شود و الکترولیز انتخابی ترجیح داده شده در ۰/۶-۰/۲ ولت انجام می‌شود.

۴- آنالیز یون‌های استخراج شده در حین الکترولیز قراضه‌ها انتخاب بهینه الکترولیت و پتانسیل‌ها را برای الکترولیز تأیید می‌کند.

۵- آنالیزهای XRD و SEM و سایر آنالیزها نشان می‌دهد که پودر استحصال‌شده از طریق این فرایند هیچ‌گونه آلودگی ندارد و کاملاً خالص است.



شکل (۸): پیک‌های تفرق اشعه ایکس و آنالیز فازی پودر

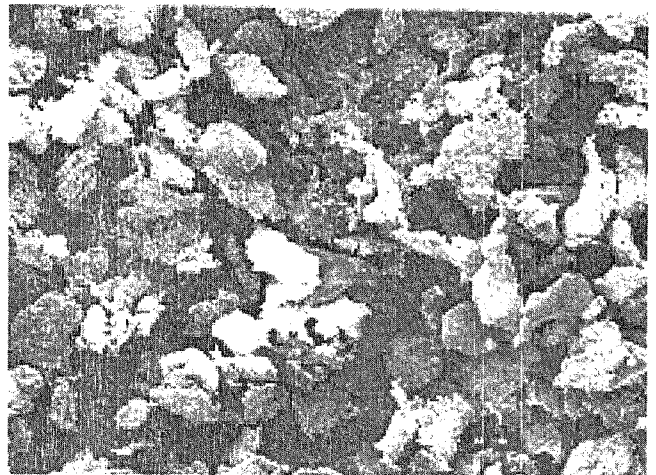
حاصل از آسیاب‌کاری

۵- مراجع

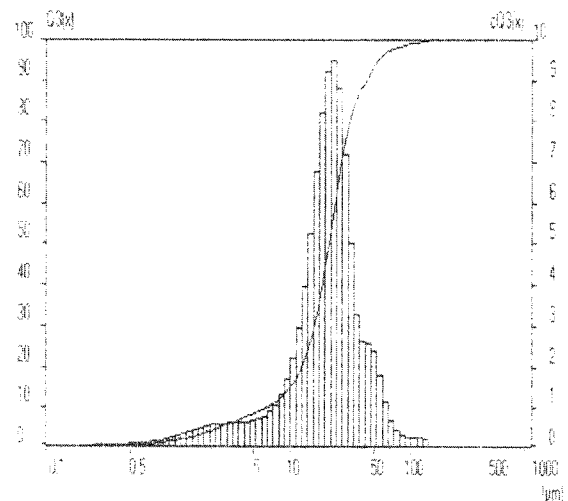
- [۱] G.R. Ramana, "Mineral Waste Treatment and Secondary Recovery." *J.MET*, Vol.38, No.4, pp.49_55.
- [۲] D. Clarence et al, U.S.Pat.4, 385,972. (1983)
- [۳] L.Jing-Chie;L.Jain-Yuan,L;J.Shie-Peir,Selective dissolution of the cobalt binder from scraps of cemented tungsten carbide in acids containing additives., *Hydrometallurgy*.Vol. 43 , Issue. 1_3,pp. 47_61.
- [۴] G.N. Srinivasan,A. Varadharaj,S.Visvanthan.,Electrolytic Recovery of Tungsten Carbide and Cobalt from Scraps/Rejects of Cemented Tungsten Carbide.,pp.90_96,in:*Transaction of thePMAI*,Vol.19 ,1992.
- [۵] Dai Enzhong, Reclamation of cemented carbide scraps by selective electrolytic dissolution process (SEDP), pp.67_73, in: *proceeding of Recycling and metallic ferrous materials*, IMM, Birmingham, UK, 23-25 April 1990.

شکل (۶) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی ۲۰۰ برابر از این نوع پودر را که از الک مش ۴۰۰ (زیر ۲۸ میکرون متر) عبور داده شده است، نشان می‌دهد.

پودر حاصل از آسیاب کاری قراضه‌ها، تحت آنالیز توزیع اندازه ذرات قرار گرفت که نتایج حاصل در شکل (۷) آورده شده است. شکل (۸) تصویر پیک‌های تفرق اشعه ایکس و آنالیز فازی این نمونه پودر را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص شده است، دو فاز کاربید تنگستن (WC) و کاربید تیتانیم (TiC)، دو فاز عمده تشکیل دهنده این پودر هستند.



شکل (۶): تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگنمایی ۲۰۰ برابر از پودر حاصل از آسیاب‌کاری



شکل (۷): نتایج حاصل از آنالیز توزیع اندازه ذرات پودر حاصل از آسیاب‌کاری قراضه‌ها