

# صیقلی کردن فلزات بر روش الکترولیتی

نوشته‌ی

دکتر جعفر امین

استاد دانشکده فنی

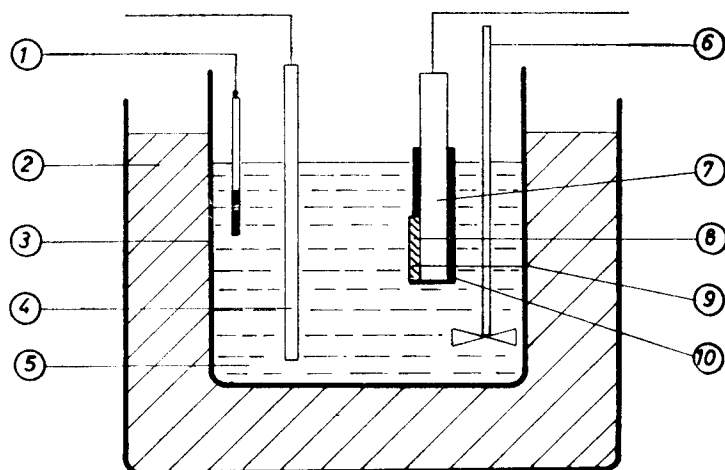
در صنعت معمولاً قطعات فلز و اجزاء ماشینها را با کومک سوهان و سمباده صاف و صیقلی میکنند ولی با این روش نه تنها سطح کاملاً صاف و لغزان بدست نمی‌آید بلکه مشاهدات میکروسکوپی نشان میدهد که در روی این سطوح خراشهای ناشی از مالش ذرات سخت سمباده باقیمانده و علاوه بر این یک قشر نازک اکسید فلز و ناخالصی‌های دیگر نیز ظاهر میشود. بهمین علت از چندی پیش ب فکر افتادند که راه دیگری برای صیقلی کردن فلزات و آلیاژها پیدا کنند که هم سهل تر و هم کاملتر از روش مکانیکی باشد.

در سال ۱۹۲۹ پی‌یر ژا که Pierre Jaquet محقق فرانسوی بمنظور تهیه پلاکهای صاف و خالص نیکل که بعنوان آن‌دلامپهای الکترونیك بکار می‌روند توانست از روش جدیدی که آنرا روش الکترولیتی نام نهاده استفاده کند و از لحاظ حذف پارازیت‌ها نتیجه درخشانی بدست آورد. وی ظرف الکترولیزی اختیار کرد شامل الکترولیت مخصوص از جنس اسید یا نمک. پلاک نیکلی معمولی را بجای آن دو صفحه‌ای از فولاد را بعنوان کاتد اختیار کرد و جریان پیوسته‌ای از آن عبور داد و با این ترتیب موفق شد که صفحه نیکلی صاف و بدون عیبی بدست آورد کیفیت این تکنیک در واقع معکوس عمل گالوانوپلاستی است بدین معنی که در گالوانوپلاستی از محلول الکترولیت قشری از فلز بر روی کاتد می‌نشیند در صورتیکه در صیقلی الکترولیتی قشری از فلز یا آلیاژ از سطح آن‌دکنده شده و وارد الکترولیت میگردد و بعلمتی که بعد ها توضیح داده خواهد شد این عمل بیشتر در برآمدگیهای سطح فلز انجام میگردد بقسمی که پس از مدت کوتاهی برآمدگی‌ها هموار شده و در نتیجه سطح صافی حاصل میگردد.

پی‌یر ژا که در ۱۹۳۳ موفق شد با همین روش سس و آلیاژهای آنرا در الکترولیتهائی نظیر اسید ارتو فسفریک یا اسید پیرو فسفریک صیقلی نماید. امروزه تعداد بیشماری از فلزات و آلیاژها را با همین طریق صیقلی می‌کنند.

## شرح دستگاه - شرایط عمل - الکترولیت ها

دستگاه لازم و شرایط عمل بر حسب هدف نهائی، جنس فلز یا آلیاژ، شکل نمونه و ابعاد و مقدار کار فرق میکند لیکن برای روشن شدن مطلب مورد بحث میتوان از دستگاه ساده‌ای که در (شکل ۱) نمایش داده



( شکل ۱ )

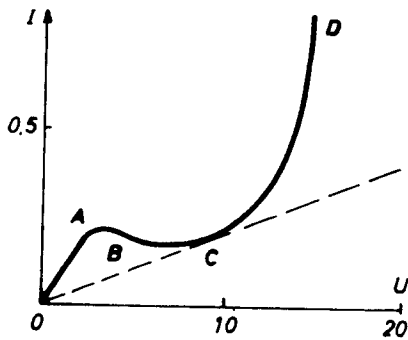
- |                   |                     |
|-------------------|---------------------|
| ۱- ترمومتر        | ۶- بهم زن           |
| ۲- آب             | ۷- تکیه گاه آند     |
| ۳- طشتک الکترولیز | ۸- گیره آند         |
| ۴- کاتد           | ۹- نمونه صیقلی شدنی |
| ۵- الکترولیت      | ۱۰- ورنی عایق       |

شده استفاده کرد این دستگاه شامل یک طشتک شیشه‌ای است بطرفیت در حدود یک لیتر که در داخل طشتک بزرگتری قرار دارد و بین این دو ظرف جریان آب سرد می‌گذرد تا از گرم شدن زیاد الکترولیت که گاهی خطر انفجار در پی دارد جلوگیری نماید. نمونه‌ای که باید صیقلی شود بر روی صفحه آند متصل کنند و صفحه‌ای از فولاد یا آلومینیم یا مس یا نیکل و یا حتی گرافیت که مساحتش ۵ الی ۲۰ برابر مساحت آند باشد بعنوان کاتد اختیار می‌نمایند، یک بهم زن و یک میزان‌الحراره نیز در داخل الکترولیت قرار می‌دهند. الکترودها را یا بطریق پتانسیومتری و یا بطور سری برئوستا و باطری آکومولاتور متصل می‌نمایند.

**الکترولیت ها** - با وجود آنکه الکترولیتهای مصرف شده خواص عمومی مشابه دارند لیکن هنوز نتوانسته‌اند که یک الکترولیت مشترک برای همه فلزات و آلیاژها انتخاب نمایند چونکه خواص الکتروشیمی فلزات متفاوتست و ناگزیر باید برای هر کدام از فلزات الکترولیت مناسبی بکار برد. باید دانست که معمولاً الکترولیت‌ها مخلوطی از اسیدهای مختلف گاهی همراه با الکلیها می‌باشند.

**شرایط عمل** - هرگاه منحنی نمایش تغییرات شدت جریان مدار را بر حسب تغییرات اختلاف پتانسیل بین دو الکتروده ظرف الکترولیز رسم کنیم بشرط آنکه نمونه انتخاب شده بقدر کافی کوچک باشد منحنی (شکل ۲)

بدست می‌آید که در آن چهار قسمت متمایز تشخیص داده میشود. شاخه OA که در طول آن آند بطور عادی



( شکل ۲ )

در الکترولیت حل میشود بدون آنکه صیقلی گردد در این مرحله شدت جریان بازاء پتانسیل  $U$  بمقدار  $I$  میرسد. شاخه AB که زمان آن کوتاه بوده و در طی آن قشر نازک و لیزجی که مقاومت الکتریکی قابل ملاحظه‌ای دارد در سطح آند ظاهر می‌شود و با تشکیل این قشر، پتانسیل سلول بسرعت از  $U$  تا  $U_1$  بالا رفته و شدت جریان از  $I$  تا  $I_1$  تنزل می‌کند و در همین شرایط است که آند صاف و صیقلی می‌شود. این قشر که از انحلال آند در الکترولیت حاصل می‌شود سطح

آند را می‌پوشاند بطوریکه ضخامت آن در حفره‌ها بیشتر و در برآمدگیها کمتر است و باین ترتیب سطح مقاوم نامنظمی در مقابل عبور جریان تشکیل می‌شود و در نتیجه دانسیته جریان در حفره‌ها کمتر و در برآمدگیها بیشتر خواهد بود و بهمین علت است که برآمدگیهای سطح آند بیشتر در الکترولیت حل میشود. شاخه BC که خطی است کم‌و بیش افقی و در طول آن پتانسیل سلول از  $U_1$  تا  $U_2$  ترقی میکند و بر ضخامت قشر آندی اضافه می‌شود. شاخه CD که در طول آن قشر آندی بتدریج معدوم شده و از سطح آند حبابهای گازی شکل متصاعد می‌گردد در این موقع سطح آند خورده شده و پر از ناهمواری میگردد.

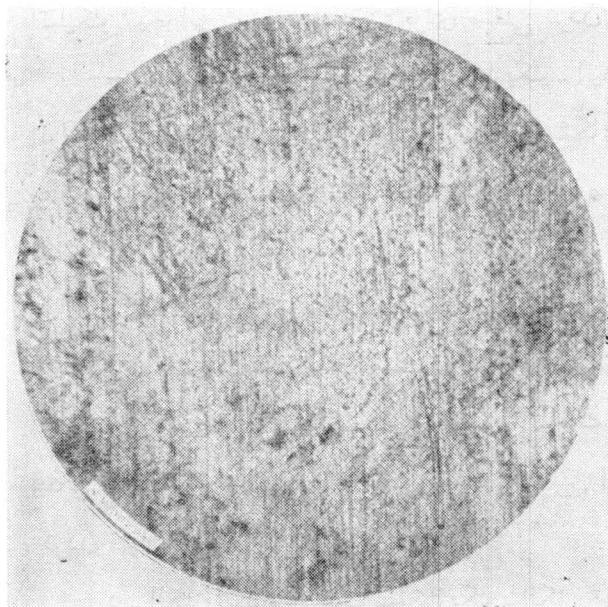
**بهترین شرایط عمل** - گرچه عمل صیقلی شدن بازاء شرایط مربوط به تمام نقاط شاخه BC و گاهی بالاتر از نقطه C انجام می‌گیرد ولی آزمایشهای جدید نشان داده‌است که بهترین شرایط عمل مربوط بنقطه ایست که که بازاء مختصات آن مقاومت ظاهری ظرف الکترولیز بعد اعلاى خود میرسد. این نقطه محل تماس منحنی با خطی است که از مبدا مختصات بر منحنی مماس باشد.

معادله پارامتری این منحنی در مختصات قطبی بصورت زیر است :

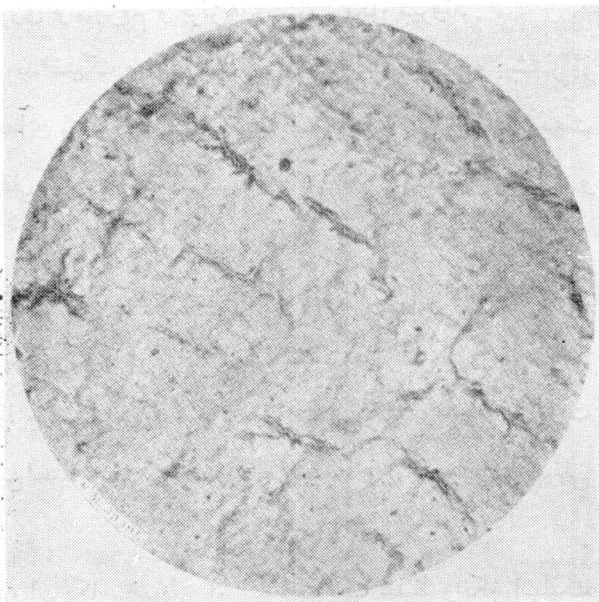
$$\cot \alpha = \frac{K'U}{KI} \quad \text{و} \quad \rho^2 = K^2 I^2 + K'^2 U^2$$

که در آن  $K$  و  $K'$  مقادیر ثابتی هستند که بستگی بدستگاه و خصوصیات آزمایش دارند.

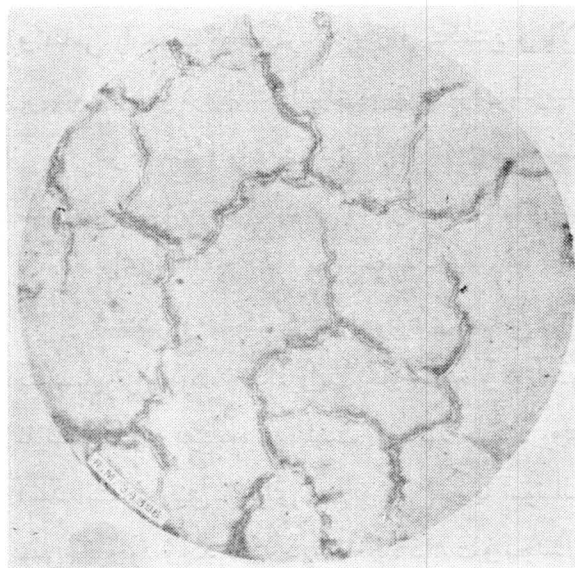
در رابطه دوم مقدار  $\frac{U}{I}$  یعنی مقاومت ظاهری دستگاه موقعی بما گزینیم خود میرسد که  $\alpha$  بعد اقل خود برسد یعنی خط OC مماس بر منحنی باشد از این رو نتیجه میگیریم که بهترین شرایط عمل مربوط به مختصات نقطه C می‌باشند گرچه برای بعضی از فلزات مانند سرب و آهن و آلیاژهای آنها و برخی از الکترولیتها مانند اسید فسفریک منحنی (جریان - پتانسیل) بصورت بالا بدست نمی‌آید ولی اگر برای تمام فلزات و الکترولیت‌ها منحنی نمایش تغییرات مقاومت ظاهری سلول بر حسب تغییرات پتانسیل یعنی  $f(u) = \frac{U}{I}$  را رسم کنیم همواره ما گزینمی در منحنی مشاهده خواهیم کرد که منطبق بر مختصات بهترین شرایط صیقلی است و چنانچه پتانسیل را کم یا زیاد کنیم سطح آند بآن خوبی صاف نخواهد شد. (شکل ۳).



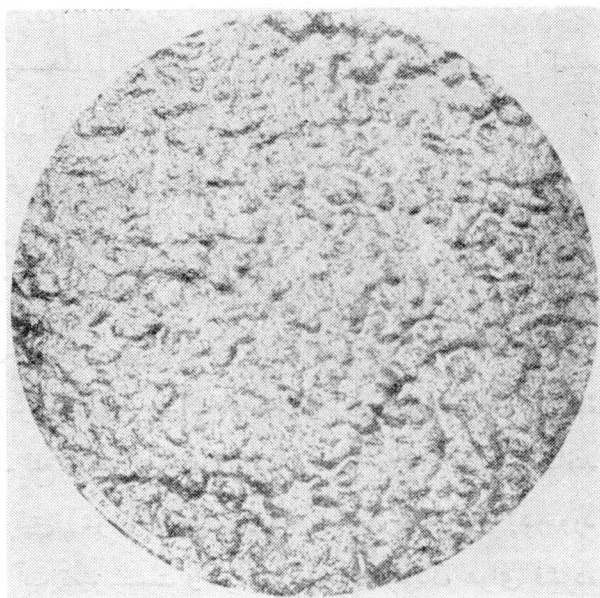
۱- سطح طبیعی آلیاژ



۲- سطح صیقلی شده در ۱۸ ولت



۳- سطح صیقلی شده در ۲۲ ولت



۴- سطح صیقلی شده در ۲۵ ولت

( شکل ۳ )

میکروگرافی یک نمونه مومنتال ( آلیاژ فرونیکل ) که در پتانسیل های مختلف صیقلی شده است

**انواع الکترولیت ها - الکترولیت هائیکه امروزه مورد استعمال دارند چند نوعند .**

الف - الکترولیت های تیپ اسید فسفریک - آب : این الکترولیت ها محلولهای اسید فسفریک در آب

به نسبت های مختلف می باشند و برای صیقلی کردن مس و بعضی از آلیاژهای آن بکار میروند .

ب - الکترولیت های تیپ اسید فسفریک - الکل : مخلوطهایی از اسید فسفریک  $d = 1.171$  و الکل

اتیلیک ° ۹۵ الی ° ۹۶ هستند که برای صیقلی کردن روی و منیزیم و برنزه‌های سرب بکار میروند.

ج - الکترولیت‌های تیپ اسید پرکلریک - انیدرید استیک : این دسته از الکترولیت‌ها که بیشتر از انواع دیگر مصرف میشوند و بخصوص در آزمایشگاه‌های متالورژی برای تهیه نمونه‌های فلز یا آلیاژ جهت مطالعه در زیر میکروسکپ مورد استعمال دارند برای صیقلی کردن آهن - اقسام فولاد - قلع - سرب - آلومینیم و آلیاژهای آن بکار میروند.

برای تهیه این نوع الکترولیت باید در داخل انیدرید استیک با احتیاط قطره قطره اسید پرکلریک ریخت و مخلوط را بهم زد و سرد نگاه داشت تا از انفجار اسید پرکلریک در اثر افزایش سریع حرارت جلوگیری شود. انیدرید استیک بتدریج آب موجود در اسید پرکلریک را جذب کرده و ایجاد حرارت می‌کند و همین حرارت ممکن است اسید پرکلریک بی آب را منفجر نماید. این احتیاط حتی باید هنگام استعمال الکترولیت در صیقلی کردن فلزات مرعی گردد.

د - الکترولیت‌های تیپ اسید نیتریک - الکل : در امریکا مخلوطی از اسید نیتریک غلیظ و الکل اتیلیک مطلق را بنام نیتال Nital برای صیقلی کردن فولادهای زنگ نزن و نیکل و آلیاژهای آن بکار میبرند.

و - الکترولیت‌های دیگر : محلولهای اسید سولفوریک را برای صیقلی کردن مولیبدن، محلولهای سود و پتاس را جهت صاف کردن روی و تنگستن و بالاخره محلولهای رقیق اسید فلئوریدریک مخلوط با اسید بریک یا اسید کرومیک را برای صیقلی کردن آلومینیم و آلیاژهای آن بکار میبرند.

در صنعت انواع دیگری از الکترولیت‌ها بمبنای اسیدهای معدنی یا آلی مانند اسید آرسنیک - اسید سیتریک - اسید تارتریک گاهی مخلوط با الکل‌های غیر حلقوی نیز مصرف میشوند. برای مطالعه اقسام مختلف الکترولیت‌ها بجدول صفحه مقابل مراجعه شود.

**شستشو و خشک کردن نمونه‌های صیقلی شده** - قطعه صیقلی شده باید بلافاصله و در حالیکه هنوز تحت پتانسیل قرار دارد از الکترولیت خارج شده و فوراً در زیر جریان سریع آب شسته شود و اگر سطح آن از پرده نازک و کدری پوشیده شده است (مانند مس - روی - قلع و آهن وغیره) باید آنرا در محلول مناسبی مانند اسید استیک رقیق (برای آهن و قلع) و یا آمونیاک رقیق (در مورد روی) و یا اسید فسفریک رقیق (در مورد مس) فرورد و چند ثانیه در آن نگاه داشت و مجدداً با آب تمیز شست و در آخر بکومک جریان هوای فشرده آنرا خشک کرد و در جای محفوظ و خنثی و عاری از گرد و غبار و رطوبت نگاهداری کرد.

**موارد استعمال :** این روش نوین صیقلی فلزات ضمن آنکه هنوز مراحل آزمایشی را می‌پیماید کم و بیش موارد استعمال صنعتی هم پیدا کرده است بطوریکه سرویسهای کارد و چنگال، فنرها، پیستونهای موتورهای انفجاری، آئینه‌های فلزی و نورافکن‌های اتومبیل و بسیاری از ادوات دیگر را بهمین طریق صیقلی و براق می‌کنند در زیر چند مورد استعمال مهم آنرا نام می‌بریم.

۱ - مطالعه و کنترل میکروگرافی - در صنعت فولادسازی و ریخته‌گری و سایر اعمال فلز کاری لازم است که نمونه‌هایی از محصول را صیقلی کرده و در زیر میکروسکپ مطالعه نمایند. چنانچه قبلاً نیز ذکر شد اگر

مدت دقیقه	شرایط عمل		جریان A/d <sup>2</sup>	دانشیه	ترکیب اولیه الکترولیت	نام فلز یا آلیاژ
	درجه حرارت	پتانسیول				
۱ تا ۱۰	< ۳۰	۳ تا ۱۰	۶ تا ۱	اسید پر کلریک ۱٫۶۱ = $27d$ یا نیتریمکعب انیدرید استیک ۰٫۹۸٪ ۷۳٪ نیتریمکعب	فولاد های نیکل دار	
۱۰ تا ۳	۳۰ تا ۱۰	۴ تا ۲۰	۲۸ تا ۶	اسید پر کلریک ۱٫۶۱ = $d$ یا نیتریمکعب اسید استیک ۱۰۰٪ نیتریمکعب	فولاد های کربن دار	
$\frac{1}{3}$	> ۳۰	۱۰ تا ۳۰	۲۰ تا ۱۰	اسید پر کلریک ۱٫۶۱ = $20d$ یا الکل اتیلیک یا کهمی اتر ۸۰٪	فولاد های مختلف	
۱۰ تا ۲	۹۰ تا ۶۰	۱۲ تا ۸	۵ تا ۲۰	انیدرید کرومیک ۲۷۰ تا ۳۲۰ گرم اسید فسفریک ۱٫۶۱ = $d$ یک لیتر	فولاد های مختلف	
۱۰ تا ۳	۹۰	۸ تا ۶	۱۶ تا ۸	اسید سولفوریک ۱۰٪ تا ۲۰٪ اسید سیتریک ۵۵٪ تا ۶۰٪ آب ۳۰٪	فولاد ۱۸-۸	
۹ تا ۲۰	۶۰	۱۲ تا ۳	۱۱ تا ۵	اسید سولفوریک ۱۰٪ اسید آرسنیک ۷۷٪ آب ۱۲٪	فولاد های زنگ نزن	
۱ تا ۳	۸۰ تا ۵۰	۱۵ تا ۶	۵ تا ۱۰	اسید سولفوریک ۱۰٪ تا ۲۰٪ اسید فسفریک ۶۳٪ تا ۶۷٪ آب ۲۲٪ تا ۱۳٪	فولاد های مختلف	
۱۰ تا ۲	۹۰ تا ۴۰	۱۵ تا ۱۲	۶ تا ۵	محلول کربنات سدیم ۱۰٪ محلول فسفات سدیم ۵٪	آلومینیم خالص	
۱ تا ۱۰	۶۰ تا ۲۰	۲ تا ۵	۸ تا ۱	محلول اسید فلئوئوریک BF <sub>4</sub> H <sub>3</sub> ۵٪ تا ۱۰٪	آلومینیم خالص	
۱ تا ۱۰	۹۰ تا ۵۰	۱۲ تا ۳	۵ تا ۷	انیدرید کرومیک ۱۰۰ تا ۲۰۰ گرم اسید فسفریک ۱٫۶۱ = $d$ یک لیتر	آلومینیم و آلیاژهای آن	
۲ تا ۵	۹۰ تا ۸۰	۲ تا ۵	۲۵	اسید سولفوریک ۷۰٪ اسید فسفریک ۱۰٪ آب ۱۰٪	آلومینیم و آلیاژهای آن	
۱ تا ۵	۳۰ تا ۱۸	۸ تا ۲۰	۸ تا ۲	اسید پر کلریک ۱٫۶۱ = $14d$ یا نیتریمکعب انیدرید استیک ۰٫۹۸٪ ۷۸٪ نیتریمکعب	آلومینیم و آلیاژهای آن	
۰٫۳ تا ۰٫۱	خیلی سرد	۱۰ تا ۵۰	۲۰ تا ۵۰	اسید پر کلریک ۱٫۶۱ = $7d$ یا نیتریمکعب الکل متیلیک ۱۶۸٪ نیتریمکعب گلسترین ۲۰٪ نیتریمکعب	آلومینیم و آلیاژهای آن	
۵	۲ تا ۱۸	ماکزیمم	۳ تا ۲	سیانورنقره ۳ گرم در لیتر - سیانور پتاسیم ۳۸ گرم در لیتر - کربنات پتاسیم ۳۷ گرم در لیتر	نقره	
۱۰	۶۵	۱۰ تا ۵	۱۰	اسید فسفریک ۷۴٪ اسید سولفوریک ۵٪ اسید کرومیک ۸٪ آب ۱۳٪	کروم و کربانت	
۳ تا ۲	معمولی	۱٫۲	۱۰ تا ۲	اسید ازنو فسفریک ۱۳۰ = $d$	کربانت	
۲ تا ۵	۲ تا ۱۰	۳ تا ۱٫۸	۳ تا ۱۶	اسید ازنو فسفریک ۱۰ تا ۱۷ = $d$	مس و آلیاژهای آن	
۶۰	معمولی	۱٫۵	۰٫۵	اسید ازنو فسفریک ۷ تا ۱۰٪ اسید فسفریک ۷۰ تا ۶۰٪ اسید کرومیک ۷٪ آب بقیه	مس و برنج و ورشو	
۳ تا ۰٫۵	۸۰ تا ۲۰	۱۰ تا ۵	۱۰ تا ۲۰	اسید ازنو فسفریک ۱٫۷ = $30d$ یا نیتریمکعب الکل اتیلیک ۶۲٪ نیتریمکعب	منیزیم و آلیاژهای آن	
۱۰	۳ تا ۱۸	۱۰ تا ۵	۱۰ تا ۶	محلول اسید سولفوریک ۱٫۶۱ = $d$	نیکل	
				اسید پر کلریک ۱٫۶۱ = $21d$ تا ۳۰٪ نیتریمکعب انیدرید استیک ۷۰٪ تا	سرب	

فلز را با روش مکانیکی صیقلی نمایند قشر مزاحمی از اکسید و ناخالصیها سطح آنرا می پوشاند و مانع تحقیق میگردد ولی با روش الکترولیتی نه تنها این قشر تشکیل نمیشود بلکه ساختمان تبلوری فلز یا آلیاژ عریان و آشکار میگردد و اگر احیاناً معایبی مانند وجود سوراخ و حفره و شکستگی در آن موجود باشد بخوبی رؤیت خواهد شد. در کارخانه های اتومبیل سازی این روش بمنظور تحقیق ساختمان فولاد ضمن کربن گیری چدن بسیار متداول است زیرا هم سریع است و هم دقیق مثلاً در مدت ۳ ساعت یک کارگر میتواند ۵ نمونه فولاد را آماده مطالعه نماید در صورتی که با روش مکانیکی بیش از یک روز وقت و تعداد بیشتری کارگر لازم است.

**۲ - براق کردن و جلا دادن فلزات -** تکنیک صیقلی الکترولیتی فلزات موارد استعمال وسیعی در امریکا بمنظور براق کردن و جلا دادن آنها پیدا کرده است. معمولاً قطعات فولادی زنگ نزن را که در یخچالها و اتومبیل ها بکار میروند بهمین طریق صیقلی و براق میکنند همچنین در زرگری و جواهرسازی از همین روش استفاده میکنند زیرا طلا و نقره و پلاتین ضمن صیقلی شدن جلا و برق کافی هم پیدا میکنند. معمولاً پس از یک صیقلی مکانیکی مقدماتی صیقلی الکترولیتی انجام می دهند ولی با الکترولیتهائی بمبنای اسید فسفریک احتیاجی به صیقلی مکانیکی مقدماتی هم نخواهد بود. اگر آئینه های آلومینیومی را با الکترولیت اسید پرکلریک - انیدرید استیک صیقلی نمایند علاوه بر آنکه مشخصات نوری آئینه تغییر محسوسی نمی کند ضریب انعکاس آن تا ۹۰٪ الی ۹۲٪ افزایش می یابد. معمولاً پس از صیقلی الکترولیتی این آئینه ها، یک اکسیداسیون آندی هم انجام می دهند تا جلای فلزی آنها محفوظ بماند.

**۳ - گالوانوپلاستی -** اگر فلزی را بروش الکترولیتی صیقلی نمایند برای گالوانوپلاستی آمادگی بیشتر دارد و پوشش فلزی محکمتری دریافت می کند. این روش امروزه در نیکل کاری - مس کاری - کرم کاری و نقره کاری بسیار متداول است. در کرم کاری هر دو عمل صیقل و گالوانوپلاستی را در یک ظرف انجام می دهند الکترولیت مخلوطی است از اسید سولفوریک و بیکرمات پتاس یا انیدرید کرمیک. همینکه فلز صیقلی شد جهت جریان را عوض میکنند تا قشری از کرم روی فلز قرار گیرد. یکی از مزایای این روش در صیقلی کردن فلزات گرانبها مانند نقره و طلا و پلاتین آنست که از محلولهای الکترولیت میتوان مجدداً ذرات کنده شده را استخراج نمود و از اتلاف آنها بمقدار قابل ملاحظه ای جلوگیری کرد.