



## گروه مهندسی مواد-گرایش خوردگی



Designation: G 102 – 89 (Reapproved 1999)

ترجمه استاندارد ASTM G 102

مترجم: مصطفی دزفولی

## تمرین استاندارد برای محاسبه نرخ خوردگی و اطلاعات مرتبط، با استفاده از روش های الکتروشیمیایی (G 102)

### ۱. حوزه کاری

این تمرین برای راهنمایی جهت تبدیل نتایج حاصل از اندازه گیری های الکتروشیمیایی به نرخ خوردگی یکنواخت در نظر گرفته شده است. روشهای محاسبه برای تبدیل کردن اندازه دانسیته جریان خوردگی به یکی از دو نرخ جرم از دست رفته یا نرخ متوسط نفوذ، برای اغلب آلیاژهای مهندسی، شرح داده شده است. بعلاوه اکثر راهنمایی ها برای تبدیل کردن اندازه مقاومت پلاریزاسیون به نرخ خوردگی گفته شده است.

### ۲. منابع (مراجع)

استانداردهای ASTM:

D 2776 : روشهای تست برای خوردگی آب در شرایط عدم انتقال حرارت ( روشهای الکتریکی)

G 1: تمرین برای آماده سازی ، تمیز کاری و ارزیابی خوردگی نمونه مورد تست

G 5 : منبع روش تست بدست آوردن اندازه گیری های پتانسیواستاتیک و پتانسیودینامیک پلاریزاسیون آندی

G 59 : تمرین برای انجام اندازه گیری های مقاومت پلاریزاسیون پتانسیودینامیک

### ۳. اهمیت و استفاده

۳,۱ اندازه گیری های نرخ خوردگی الکتروشیمیایی اغلب نتایجی براساس پارامتر جریان الکتریکی فراهم میکنند. اگر چه تبدیل این اندازه های جریان به وزن ازدست رفته یا نرخ نفوذ برپایه قانون فارادی می باشد، محاسبات میتوانند برای آلیاژها و فلزاتی با عناصر دارای ظرفیت متغیر پیچیده باشند. این تمرین راهنمایی جهت محاسبه جرم از دست رفته و نرخ نفوذ برای چند نمونه آلیاژ، و چند اندازه نمونه از وزن های معادل (EW) برای انواع مختلف فلزات و آلیاژها را شرح داده است.

۳,۲ اندازه گیری های نرخ خوردگی الکتروشیمیایی، ممکن است نتایجی براساس پارامتر مقاومت الکتریکی فراهم آورد. تبدیل این نتایج به جرم ازدست رفته یا نرخ نفوذ نیازمند اطلاعات الکتروشیمیایی بیشتری است. در اینجا برخی روشهای برآورد (محاسبه یا تخمین زدن) این اطلاعات داده شده است.

۳,۳ استفاده از این تمرین به محاسبه اطلاعات نرخ خوردگی از نتایج الکتروشیمیایی، همراه با سازگاری بیشتر (خطای کمتر)، کمک خواهد کرد. این باعث میشود نتایج بدست آمده از مطالعات مختلف، قابلیت مقایسه بیشتر و دارای کمترین خطاهای محاسباتی باشد، خطاهایی که ممکن است در حین تبدیل نتایج الکتروشیمیایی به اندازه نرخ خوردگی بوجود آید.

## ۴. دانسیته جریان خوردگی

۴,۱ مقدار(اندازه) جریان خوردگی ممکن است از سلول گالوانیک و اندازه گیری های پلاریزاسیون بدست آمده باشد، از جمله برون یابی تافل یا اندازه گیری های مقاومت پلاریزاسیون. (برای مثال به منبع روش تست G 5 و تمرین G 59 ، رجوع شود). اولین مرحله تبدیل یک اندازه یا جریان بدست آمده به دانسیته جریان ، تقسیم کردن کل جریان بر سطح هندسی از الکتروود، که در معرض محلول قرار گرفته است، می باشد. در محاسبات فرض شده است که توزیع جریان در سراسر مساحت یکسان است. در مورد کوپل مکانیکی، مساحتی از نمونه که در معرض محیط بوده است، باید استفاده شود. این محاسبات به صورت فرمول زیر انجام می شود:

$$i_{cor} = \frac{I_{cor}}{A}$$

داریم:

$$i_{cor} = \text{دانسیته جریان خوردگی} ، \mu A/cm^2$$

$$I_{cor} = \text{کل جریان آندی} ، \mu A$$

$$A = \text{مساحت از نمونه که در معرض محیط بوده است} ، cm^2$$

واحدهای دیگر میتوانند در این محاسبات استفاده شوند. در برخی تجهیزات کامپیوتری پلاریزاسیون، بعد از معرفی کردن مساحت نمونه به کامپیوتر، این محاسبات (فرمول) به صورت اتوماتیک (خودکار) انجام می شود. نمونه محاسبات در ضمیمه X1 داده شده است.

## ۴,۲ وزن معادل (EW)

وزن معادل، EW، ممکن است به عنوان جرمی از فلز در مقیاس گرم که در اثر عبور یک فارادی  $(96489 \pm 2C \text{ (amp - sec)})$  جریان الکتریکی، اکسید خواهد شد، شناخته شود (تعریف شود).

یادداشت ۱: اندازه EW به واحد سیستم وابسته نیست و ممکن است بدون بعد در نظر گرفته شود. برای عناصر خالص EW با فرمول زیر محاسبه می شود.

$$EW = \frac{W}{n}$$

داریم:

$$W = \text{وزن اتمی عنصر}$$

$n =$  تعداد الکترون های مورد نیاز برای اکسید یک اتم از عنصر در فرآیند خوردگی، این، ظرفیت یک عنصر است.

## ۴,۳ برای آلیاژها، وزن معادل پیچیده تر است. به طور معمول فرض می شود فرآیند

اکسیداسیون یکنواخت است و به صورت انتخابی در هر ترکیب از آلیاژ اتفاق نمی افتد. اگر

این درست نباشد، سپس روش محاسبات نیاز به تنظیم شدن، برای منعکس کردن مکانیزم مشاهده شده دارد. علاوه براین، باید چند دلیل منطقی (مبنا) برای تخصیص مقادیر  $n$  به عناصر آلیاژ اتخاذ شود، زیرا بسیاری از عناصر بیش از یک ظرفیت دارند.

۴,۴ برای محاسبه وزن معادل آلیاژ، روش زیر ممکن است استفاده شود. یک واحد جرم از آلیاژ اکسید شده را در نظر بگیرید. الکترون معادل برای یک گرم از یک آلیاژ به صورت  $Q$  محاسبه می شود:

$$Q = \sum \frac{n_i f_i}{W_i}$$

داریم:

$$f_i = \text{درصد جرمی از عنصر } i \text{ در یک آلیاژ}$$

$$W_i = \text{وزن اتمی عنصر } i \text{ از یک آلیاژ}$$

$$n_i = \text{ظرفیت عنصر } i \text{ از یک آلیاژ}$$

بنابراین وزن معادل آلیاژ  $EW$ ، معادل است با مقدار مقابل:

$$EW = \frac{1}{\sum \frac{n_i f_i}{W_i}}$$

معمولا عناصر بالای 1WT% در آلیاژ در محاسبات اعمال (لحاظ) می شود. در مواقعی که آنالیز واقعی از آلیاژ امکان پذیر (در دسترس) نباشد، مرسوم است که از یک حد وسط از خصوصیات ترکیب برای هر عنصر استفاده می شود، مگر اینکه اساس (روش) بهتری در دسترس باشد. نمونه محاسبات در ضمیمه X2 آورده شده است.

**۴,۵** ظرفیت واگذاری شده (تخصیص داده شده) برای عناصری که ظرفیت متعدد نشان می دهند، می تواند عدم قطعیت ایجاد کند. بهترین کار این است اگر می توان یک روش مستقل برای ایجاد ظرفیتی مناسب برای هر یک از عناصر آلیاژی، مورد استفاده قرار گیرد. گاهی اوقات ممکن است آنالیز محصولات خوردگی و نتایج آن برای ایجاد ظرفیت مناسب استفاده شود. روش دیگر برای اندازه گیری و یا برآورد پتانسیل الکتروود، استفاده از سطح خورده شده است. دیاگرام های تعادلی، مناطق پایداری فازهای مختلف به عنوان تابعی از پتانسیل و pH را نشان می دهند که ممکن است از داده های ترمودینامیکی ایجاد شده باشد (بدست آمده باشد). این نمودارها به عنوان دیاگرام پتانسیل - pH (پوربه) شناخته شده اند و توسط چندین نویسنده منتشر شده است (۲,۳). نمودارهای مناسب برای عناصر آلیاژی مختلف می توانند به منظور برآورد ظرفیت پایدار هر یک از عناصر در دما، پتانسیل و pH (از یک الکتروولت در تماس در طول آزمون)، مورد استفاده قرار گیرند.

یادداشت ۲: برخی از نشریات قدیمی از داده های ترمودینامیکی نادرست برای ساخت نمودار استفاده کردند و در نتیجه آنها دارای خطا هستند.

**۴,۶** برخی از اندازه های معمول EW برای انواع فلزات و آلیاژها در جدول ۱ داده شده است.

جدول ۱

( کلید Ctrl را گرفته و روی کلمه جدول، کلیک چپ کنید)

۴,۷ محاسبات نرخ خوردگی

قانون فارادی می تواند برای محاسبه نرخ خوردگی استفاده شود، براساس پارامتر نرخ نفوذ (CR) یا نرخ از دست دادن جرم (MR)

$$CR = k_1 \frac{i_{cor}}{\rho} EW$$

$$MR = k_2 i_{cor} EW$$

داریم:

$$CR = \text{براساس } mm/yr$$

$$i_{cor} = \text{براساس } \mu A/cm^2$$

$$k_1 = 3.27 \times 10^{-3} \text{ براساس } mmg / \mu A.cm.yr$$

$\rho =$  چگالی براساس  $g/cm^3$  (تمرین 1 G مطالعه شود. برای اندازه چگالی بسیاری از فلزات و آلیاژها در آزمایشات خوردگی استفاده شده است.



$$MR = \text{واحدش } \frac{g}{m^2 d}$$

$$k_2 = 8.954 \times 10^{-3} \text{ براساس } \frac{gcm^2}{\mu A \cdot m^2 d} \text{ (یادداشت ۳)}$$

یادداشت ۳: وزن معادل در این محاسبات بدون بعد در نظر گرفته شده است.

ارزش های دیگر برای  $k_1$  و  $k_2$  برای سیستم های واحد های مختلف در جدول ۲ داده شده است.

**۴,۸** خطاهایی که ممکن است از این روش بوجود می آیند در زیر بحث شده است.

**۴,۸,۱** انتساب مقادیر ظرفیت نادرست ممکن است باعث خطاهای جدی شود (۵).

**۴,۸,۲** محاسبه نفوذ و یا جرم از دست رفته، با استفاده از اندازه گیری های الکتروشیمیایی، همانطور که در این استاندارد شرح داده شده، فرض بر این است که خوردگی یکنواخت بوجود آمده است. در مواردی که در آن فرآیندهای خوردگی غیر یکنواخت اتفاق می افتد، استفاده از این روش ها ممکن است منجر به کوچک شماری (خطا) قابل توجهی نسبت به مقادیر واقعی شود.

**۴,۸,۳** آلیاژهایی که شامل مقادیر زیادی از شبه فلزها یا مواد اکسید شده می باشند ممکن است توسط روش فوق قادر به درمان (اصلاح) نباشد.

۴,۸,۴ نرخ خوردگی محاسبه شده با استفاده از روش بالا که در آن سایش یا فرسایش عامل قابل توجهی در فرآیند از دست دادن فلز است، ممکن است کوچک شماری (میزان خطا) قابل توجهی در نرخ فلز از دست رفته بوجود آید.

**TABLE 2 Values of Constants for Use in Faraday's Equation Rate**

A				
Penetration Rate Unit (CR)	$I_{cor}$ Unit	$\rho$ Unit	$K_1$	Units of $K_1^A$
mpy	$\mu A/cm^2$	$g/cm^3$	0.1288	mpy $g/\mu A cm$
mm/yr <sup>B</sup>	$A/m^{2B}$	$kg/m^{3B}$	327.2	mm $kg/A m y$
mm/yr <sup>B</sup>	$\mu A/cm^2$	$g/cm^3$	$3.27 \times 10^{-3}$	mm $g/\mu A cm y$
B				
Mass Loss Rate Unit	$I_{cor}$ Unit	$K_2$	Units of $K_2^A$	
$g/m^2d^B$	$A/m^{2B}$	0.8953	$g/Ad$	
mg/dm <sup>2</sup> d (mdd)	$\mu A/cm^2$	0.0895	$mg cm^2/\mu A dm^2 d$	
mg/dm <sup>2</sup> d (mdd)	$A/m^{2B}$	$8.953 \times 10^{-3}$	$mg m^2/A dm^2 d$	

A وزن معادل (EW) بدون بعد در نظر گرفته شده است.

B واحد SI

## ۵. مقاومت پلاریزاسیون

۵,۱ مقادیر مقاومت پلاریزاسیون ممکن است از هر دو اندازه گیری پتانسیودینامیک نزدیکی پتانسیل خوردگی تقریب زده شود (نگاه کنید به تمرین G 59) یا گام به گام پلاریزاسیون پتانسیواستاتیک با استفاده از یک گام کوچک پتانسیل،  $\Delta E$ ، معمولاً دوتا ۱۰ میلی ولت یا یک ۱۰ میلی ولت (نگاه کنید به روش آزمون ۲۷۷۶D). مقادیر از  $\pm 5$  و  $\pm 20$  ولت نیز به طور معمول استفاده می شود. در این مورد، جریان نمونه،  $\Delta I$ ، پس از

حالت پایدار اندازه گیری شده است، و  $\Delta E / \Delta I$  محاسبه شده است. منحنی های اندازه گیری های پتانسیودینامیک عملکرد  $I$  در مقابل  $E$  و متقابلاً شیب منحنی ( $dE/dI$ ) در پتانسیل خوردگی اندازه گیری شده است. در اغلب تجهیزات پلاریزاسیون پتانسیودینامیک برنامه ریزی شده، به صورت خودکار جریان به چگالی جریان تبدیل می شود و نتیجه ای بدست می آید به صورت  $I$  در مقابل  $E$ . در این حالت، مقاومت پلاریزاسیون بوسیله نسبت  $dE/di$  در پتانسیل خوردگی بدست می آید و ۵,۲ قابل اجرا نیست.

۵,۲ لازم است به ضرب کردن ارزش محاسبه شده بالا  $dE/dI$  یا  $\Delta E / \Delta I$  در مساحت هندسی نمونه در معرض قرار گرفته برای به دست آوردن مقاومت پلاریزاسیون. این اساس محاسبه نشان داده شده در ۴,۱ برای دانسیته جریان است.

۵,۳ B ثابت استرن-گری باید برای تبدیل مقادیر مقاومت پلاریزاسیون به دانسیته جریان خوردگی، برآورد و یا محاسبه شده باشد (۶ و ۸).

۵,۳,۱ محاسبه ثابت استرن-گری از شیب تافل معلوم زمانی که هر دو واکنش های کاتدی و آندی، فعال سازی (اکتیویته) کنترل شده است، که است، مناطق خطی متمایز در نزدیکی پتانسیل خوردگی روی منحنی  $E \log i$  وجود دارد:

$$B = \frac{b_a b_c}{2.303(b_a + b_c)}$$

داریم:

$b_a =$  شیب واکنش آندی تافل زمانی که منحنی براساس لگاریتم برپایه ۱۰ باشد. واحد  $V / decade$

$b_c =$  شیب واکنش کاتدی تافل زمانی که منحنی براساس لگاریتم برپایه ۱۰ باشد. واحد  $V / decade$

$B =$  ثابت استرن-گری واحد  $V$

۵,۳,۲ در مواردی که یکی از واکنش ها صرفا نفوذ کنترل شده باشد، ثابت استرن گری ممکن است محاسبه شود:

$$B = \frac{b}{2.303}$$

داریم:

$b =$  شیب تافل فعالیت کنترل شده واحد  $V / decade$

۵,۳,۳ باید در این مورد اشاره کرد که دانسیته خوردگی جریان با دانسیته جریان نفوذ محدود برابر خواهد بود. نمونه محاسبه در ضمیمه X۴ داده شده است.

۵,۳,۴ مواردی که در آن هر دو فعالیت (اکتیویته) و نفوذ اثرات مشابه در بزرگی دارند به عنوان کنترل مخلوط شناخته شده است. واکنش تحت کنترل مخلوط ظاهرا اندازه  $B$  بزرگتر پیش بینی شده برای کنترل فعالیت ، و منحنی  $E$  در مقابل  $\log I$  به موازات منحنی خط

مجانب محور پتانسیل تمایل دارند. برآورد مقدار B برای موقعیت های مربوط به کنترل مخلوط به طور کلی نیاز به اطلاعات بیشتری دارد و فراتر از محدوده این استاندارد است. به طور کلی، معادله ۷ و معادله ۸ ممکن است مورد استفاده قرار گیرد، و نرخ خوردگی محاسبه شده توسط این دو تقریب ممکن است به عنوان حد پایین و بالا نرخ واقعی استفاده شود.

یادداشت ۴: الکتروود نمایش دهنده پسیوشدن پایدار طوری رفتار خواهد کرد که اگر واکنش آندی نفوذ محدود بود، مگر در مواردی که دانسیته جریان پسیو است بوسیله تالطم (تحریک) تحت تاثیر قرار نمی گیرد.

۵,۳,۵ ممکن است که برای محاسبه  $b_a$  و  $b_c$  از انحراف از منحنی خطی پلارسزاسیون در منطقه اطراف ۲۰-۵۰ میلی ولت پتانسیل خوردگی. روش های متعدد را بر اساس آنالیز مدل های سینتیکی الکتروود ارائه شده است. مشاهده منبع (۹-۱۱) برای اطلاعات بیشتر.

۵,۳,۶ در مواردی که در آن مکانیزم واکنش با جزئیات شناخته شده است، شیب تافل ممکن است از مرحله کنترل سرعت در مکانیزم واکنش برآورد شده باشد. به طور کلی، شیب تافل بدست می آید توسط (۱۲):

$$b = \frac{KRT}{nF}$$

داریم:

$$K = \text{یک ثابت}$$

$$R = \text{ثابت گازها}$$

$$T = \text{دمای مطلق}$$

$n =$  تعداد الکترون های درگیر در مرحله واکنش

$F =$  ثابت فارادی

۵,۳,۷ در مواردی که در آن شیب تافل را نمی توان از هر یک از روش های بالا توضیح داده شد، به دست آورد، ممکن است لازم به تعیین ثابت استرن گری تجربی با اندازه گیری جرم از دست رفته و مقدار مقاومت پلاریزاسیون باشد.

۵,۴ چگالی جریان خوردگی ممکن است از مقاومت پلاریزاسیون و ثابت استرن گری به شرح زیر محاسبه شود:

$$i_{cor} = \frac{B}{R_p}$$

نرخ خوردگی ممکن است از جریان خوردگی محاسبه شود، همانطور که در بخش ۴ شرح داده شده است. نمونه محاسبه در ضمیمه X۵.

۵,۵ منابع مختلفی از خطا در اندازه گیری مقاومت پلاریزاسیون وجود دارد:

۵,۵,۱ اثرات مقاومت محلول افزایش مقاومت ظاهری پلاریزاسیون است، اعم از اندازه گیری بوسیله روش های پتانسیواستاتیک یا پتانسیودینامیک .  
اثر مقاومت محلول یک تابع هندسه سلول است، اما عبارت زیر ممکن است برای تقریب آن استفاده شود.

$$R_p = R_a - \rho l$$

داریم:

$$R_a = \text{مقاومت ظاهری پلاریزاسیون در واحد } ohm.cm^2$$

$$\rho = \text{مقاومت الکترولیت در واحد } ohm.cm$$

$$l = \text{فاصله بین الکتروود نمونه و الکتروود مرجع در واحد } cm$$

$$R_p = \text{مقاومت حقیقی پلاریزاسیون در واحد } ohm.cm^2$$

اثرات مقاومت محلول قابل توجهی (نسبتاً زیاد) باعث می شود نرخ خوردگی کمتر برآورد شود. نمونه محاسبه در ضمیمه X6 داده شده است.

۵,۵,۲ از تکنیک های پتانسیودینامیک معرفی خطا اضافی از اثرات شارژ ظرفیت است. در

این مورد، میزان خطا متناسب با نرخ اسکن است.

خطا نشان داده شده بوسیله معادله ۱۲:

$$I_{total} = I_f + c \left( \frac{dV}{dt} \right)$$

داریم:

$$I_{total} = \text{جریان سلول}$$

$$I_f = \text{جریان فارادی مرتبط با فرآیندهای آندی و کاتدی}$$

$$C = \text{ظرفیت الکتروود}$$

$$\frac{dV}{dt} = \text{نرخ اسکن}$$

اثر شارژ خازن باعث خواهد شد مقاومت پلاریزاسیون محاسبه شده دارای خطا باشد. به طور کلی، این خطا کوچک با نرخ اسکن در حد متوسط است (۱۴).

**۵,۵,۳** الکترودهای خورنده (در حال خورده شدن) ممکن است سایت (مکانی) برای دیگر واکنش های الکتروشیمیایی باشد. در مواردی که در آن پتانسیل خوردگی در محدوده ۵۰ تا ۱۰۰ میلی ولت از پتانسیل برگشت از الکتروده خورنده (در حال خورده شدن) است، واکنش های الکتروشیمیایی به طور همزمان بر روی سطح الکتروده رخ خواهد داد. این باعث می شود که هر دو مقدار  $b$  آندی یا کاتدی کوچکتر از واکنش خوردگی بالا به نظر رسد. در نتیجه، ثابت استرن گری  $B$  بیشتر خواهد شد و جریان خوردگی پیش بینی بالاتر برآورد (محاسبه) خواهد شد (۱۵). در این مورد، غلظت یونهای الکتروده در حال خورده شدن به طور معمول برابر یا بیشتر از یون های دیگر شرکت کننده در فرآیند خوردگی در الکترولیت اطراف الکتروده است. سایر زوج های اکسید و احیاء که لزوماً در واکنش خوردگی شرکت نمی کنند ممکن است اثرات مشابهی داشته باشد. این امر به ویژه برای فلزاتی که رفتار پسیو از خود نشان می دهند، درست است.

## ۶. کلمات کلیدی

**۶,۱** جریان خوردگی، نرخ خوردگی، الکتروشیمیایی، وزن معادل، مقاومت پلاریزاسیون، شیب های تافل



**ضمیمه****(اطلاعات غیر الزامی)****X1. محاسبات نمونه-دانسیتته جریان خوردگی****X1.1 Data:**

X1.1.1 *Corrosion Current*—27.0  $\mu\text{A}$ .

X1.1.2 *Specimen Size*—round anode area exposed.

X1.1.3 *Diameter*—1.30 cm.

X1.2 *Calculation*—See (Eq 1) in text:

$$i_{\text{cor}} = \frac{27.0}{(1.30)^2 \frac{\pi}{4}} = \frac{27.0}{1.32} = 20.3 \mu\text{A}/\text{cm}^2$$

## X2. محاسبات نمونه-وزن معادل آلیاژ

### X2.1 Data:

X2.1.1 Alloy—UNS S31600, actual composition not available.

X2.1.2 Corrosion Potential—300 mV versus SCE 1N sulfuric acid.

### X2.2 Assumptions:

#### X2.2.1 Composition:

X2.2.1.1 Chromium 16–18 %—mid range 17 %.

X2.2.1.2 Nickel—10–14 %—mid range 12 %.

X2.2.1.3 Molybdenum—2–3 %—mid range 2.5 %.

X2.2.1.4 Iron—Balance (ignore minor elements).

$$17 + 12 + 2.5 = 31.5 \quad (\text{X2.1})$$

X2.2.1.5 Iron =  $100 - 31.5 = 68.5$  %.

X2.2.2 Valence values from Ref (2).

Chromium—+3  
Nickel—+2  
Molybdenum—+3  
Iron—+2

X2.3 Calculations—For simplicity, assume 100 g of alloy dissolved. Therefore, the gram equivalents of the dissolved components are given by (Eq 3).

$$Q = \frac{17}{51.996} \times 3 + \frac{12}{58.71} \times 2 + \frac{2.5}{95.94} \times 3 + \frac{68.5}{55.847} \times 2 \quad (\text{X2.2})$$

$$= 0.981 + 0.409 + 0.078 + 2.453 = 3.921 \text{ g equivalents}$$

The alloy equivalent weight is therefore  $100/3.921 = 25.50$ .

### X3. محاسبات نمونه برای نرخ خوردگی با استفاده از جریان خوردگی

X3.1 Data and requirements—See X1 and X2.

X3.1.1 Corrosion rate in mm/yr.

X3.1.2 Density 8.02 g/cm<sup>3</sup>.

X3.2 Calculations—See (Eq 5).

$$K_1 = 3.27 \times 10^{-3} \quad (\text{X3.1})$$

$$CR = \frac{3.27 \times 10^{-3} \times 20.3 \times 25.50}{8.02} = 0.211 \text{ mm/yr}$$

### X4. محاسبات نمونه برای ثابت استرن گری

X4.1 Case 1 Data—Tafel slopes polarization diagram,

$$ba = 58.2 \text{ mV/decade, and} \quad (\text{X4.1})$$

$$bc = 114.3 \text{ mV/decade.} \quad (\text{X4.1})$$

X4.2 Calculation in accordance with (Eq 7).

$$B = \frac{58.2 \times 114.3}{2.303 (58.2 + 114.3)} = 16.74 \text{ mV or } 0.01674 \text{ V} \quad (\text{X4.2})$$

X4.3 Case 2—Cathodic reaction is diffusion controlled

$$ba = 58.2 \text{ mV/decade} \quad (\text{X4.3})$$

X4.4 Calculation—(Eq 8):

$$B = \frac{58.2}{2.303} = 25.31 \text{ mV} \quad (\text{X4.4})$$

**X5**. محاسبات نمونه-جریان خوردگی با استفاده از داده های مقاومت

پلاریزاسیون

X5.1 Data—Polarization: 10 mV from corrosion potential.

X5.1.1 *Current measured*—17.1  $\mu\text{A}$ .

X5.1.2 *Specimen Size*—14.2 mm diameter masked circular area.

X5.1.3 Tafel slope values given in X4.

X5.2 *Calculations:*

X5.2.1 Current density (see X4):

$$\frac{17.1}{(1.42)^2 \frac{\pi}{4}} = 10.80 \mu\text{A}/\text{cm}^2 \quad (\text{X5.1})$$

X5.2.2 Polarization resistance calculation:

$$R_p = \frac{E_p}{i} = \frac{10 \text{ mV}}{10.80 \mu\text{A}/\text{cm}^2} = 926 \text{ ohm cm}^2 \quad (\text{X5.2})$$

X5.2.3 Corrosion current—(Eq 10)

$$i_{\text{cor}} = \frac{B}{R_p} = \frac{25.31 \text{ mV}}{926 \text{ ohm cm}^2} = 27.33 \mu\text{A}/\text{cm}^2 \quad (\text{X5.3})$$

## X6. محاسبات نمونه-اثرات مقاومت محلول

**X6.1 Data:**

X6.1.1 *Solution Resistivity*—4000 ohm cm.

X6.1.2 *Distance Between Luggin Tip and Specimen*—5 mm.

X6.1.3 *Measured Polarization Resistance*—9926 ohm cm<sup>2</sup>.

**X6.2 Calculation from (Eq 11):**

$$R_p = R_a - \rho l \quad (\text{X6.1})$$

$$R_p = 9926 - 0.5 \times 4000$$

$$R_p = 9926 - 2000 = 7926 \text{ ohm cm}^2$$

NOTE X6.1—The solution resistivity effect causes the corrosion rate to be underestimated by about 25 % in this case.

## REFERENCES

- (1) Dean, S. W., *Materials Performance*, Vol 26, 1987, pp. 51–52.
- (2) Pourbaix, M., “Atlas of Electrochemical Equilibrium in Aqueous Solutions,” National Association of Corrosion Engineers, Houston, TX, 1974.
- (3) Silverman, D. C., *Corrosion*, Vol 37, 1981, pp. 546–548.
- (4) Dean, S. W., Jr., W. D. France, Jr., and S. J. Ketcham, “Electrochemical Methods,” *Handbook on Corrosion Testing and Evaluation*, W. H. Ailor, Ed., John Wiley, New York, 1971, pp. 173–174.
- (5) Dean, S. W., Jr., “Electrochemical Methods of Corrosion Testing,” *Electrochemical Techniques for Corrosion*, R. Baboian, Ed., National Association of Corrosion Engineers, Houston, TX, 1977, pp. 52–53.
- (6) Stern, M. and Roth, R. M., *Journal of the Electrochemical Society*, Vol 105, 1957, p. 390.
- (7) Stern, M., *Corrosion*, Vol 14, 1958, p. 440t.
- (8) Mansfeld, F., “The Polarization Resistance Technique for Measuring Corrosion Currents,” *Corrosion Science and Technology*, Plenum Press, New York, Vol IV, 1976, p. 163.
- (9) Barnartt, S., *Electrochemical Nature of Corrosion*, *Electrochemical*

- Techniques for Corrosion*, R. Baboian, Ed., National Association of Corrosion Engineers, Houston, TX, pp. 1–10, 1977.
- (10) Oldham, K. B. and Mansfeld, F., “Corrosion Rates from Polarization Curves-A New Method,” *Corrosion Science*, Vol 13, No. 70, p. 813 (1973).
  - (11) Mansfeld, F., “Tafel Slopes and Corrosion Rates from Polarization Resistance Measurements,” *Corrosion*, Vol 29, p. 10 (1972).
  - (12) Glasstone, S., Laidler, K. J., and Eyring, H., “The Theory of Rate Processes,” McGraw Hill, New York, 1941, pp. 552–599.
  - (13) Mansfeld, F., “The Effect of Uncompensated Resistance on True Scan Rate in Potentiodynamic Experiments,” *Corrosion*, Vol 38, No. 10, pp. 556–559 (1982).
  - (14) Mansfeld, F., and Kendig, M., “Concerning the Choice of Scan Rate in Polarization Measurements,” *Corrosion*, Vol 37, No. 9, pp. 545–546 (1981).
  - (15) Mansfeld, F., and Oldham, K. L., “A Modification of the Stern-Geary Linear Polarization Equation,” *Corrosion Science*, 1971, Vol 11, pp. 787–796.

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.*

*This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (e-mail); or through the ASTM website (<http://www.astm.org>).*