



## پودمان پنجم

### خوردگی و پوشش دهی



## واحد یادگیری ۱: خوردگی

حالت اولیه خود برگردند و با ترکیبات محیط اطراف خود واکنش می دهند که اکثراً باعث خوردگی آنها می شود. همه مواد دچار پدیده خوردگی و تخریب ناشی از واکنش با عوامل محیط پیرامون خود می شوند، ولی با توجه به اینکه فلزات نسبت به مواد پلیمری و سرامیکی سریع تر دچار پدیده خوردگی می شوند، بنابراین اصطلاح خوردگی را بیشتر برای تخریب فلزات به کار می برند. براساس برآوردها در سطح بین المللی هزینه های ناشی از خوردگی در هر سال معادل ۴ الی ۵ درصد تولید ناخالص ملی کشورها است.

خوردگی یک پدیده طبیعی است که در اثر واکنش الکتروشیمیایی فلز با محیط اطراف اتفاق می افتد. خوردگی فلزات از زمانی که بشر به سمت تولید فلزات رفت شروع شد. فلزات به غیر از طلا که به صورت خالص هم در طبیعت وجود دارد، به صورت ترکیبات اکسیدی، سولفیدی، کربناتی و غیره یافت می شوند. نوع ترکیب فلزات (سنگ های معدن) با توجه به ترکیبات شیمیایی و شرایط محیطی تغییر می کند. پایدارترین شکل یک عنصر شکل موجود آنها در طبیعت می باشد و مواد زمانی که از این ترکیبات جدا می شوند تا در صنعت مورد استفاده قرار گیرند، تمایل دارند تا به

## استاندارد عملکرد کار

انجام آزمایش های خوردگی بر روی فولادها براساس استانداردها و دستورالعمل های مربوطه

## پیش نیاز

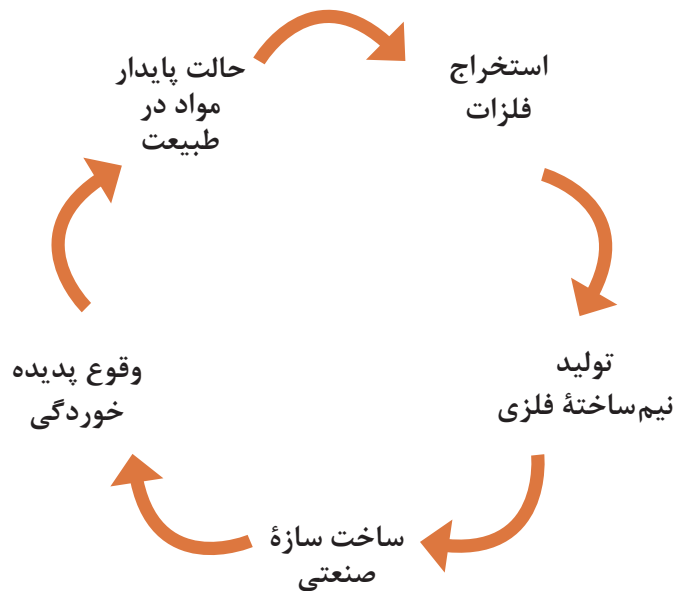
آشنایی با فرایندهای شیمیایی، فلزات، شرایط محیطی مختلف اطراف و نحوه کار با تجهیزات و مواد.



خوردگی چیست و چرا فلزات خورده می‌شوند؟

مواد صنعتی بر اثر عوامل فیزیکی، شیمیایی و یا مکانیکی پیرامون خود مثل گرما، سرما، اشعه خورشید، رطوبت، اکسیژن موجود در هوا، باکتری‌های موجود در خاک، نیروهای مکانیکی و غیره مورد حمله قرار می‌گیرند. این عوامل باعث می‌شوند که ماده صنعتی به تدریج تخریب شده و از بین برود. برای این پدیده چند تعریف ارائه شده است:

- خوردگی به مفهوم تخریب تدریجی یا از بین رفتن تدریجی مواد در اثر فعل و انفعال با محیط اطراف خود است.
  - از بین رفتن مواد در اثر عوامل شیمیایی و الکتروشیمیایی
  - فرایند خوردگی عکس فرایند استخراج است.
- هیچ فلزی در طبیعت تمایل ندارد به صورت فلز باقی بماند و تمایل به انجام واکنش با محیط اطراف خود دارد. شکل (۱) نمودار گردش مواد فلزی در طبیعت را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نمودار چرخه گردش مواد فلزی در طبیعت

جدول زیر تصاویری از قطعاتی که در شرایط محیطی مرطوب قرار گرفته‌اند و دچار خوردگی شده‌اند را نشان می‌دهد.

شکل	نام قطعه یا سازه	شکل	نام قطعه یا سازه
	زنجیر		میخ فولادی
	دوچرخه		نردبان فلزی

در ۱۵۰ سال پیش بشر بدون استفاده از فلزات و آلیاژها به‌خصوص فولاد، چدن، آلومینیوم و مس نمی‌توانست به حیات صنعتی خود ادامه دهد. استفاده روزافزون در صنایع مختلف و کاربرد آنها در محیط‌های جدید و عموماً خورنده هزینه‌های جبران‌ناپذیری را پدید آورده است. این هزینه‌ها در صنایع مختلف مصرف می‌شوند.

### اثرات زیانبار خوردگی:

- ۱ کاهش راندمان تولید و از کار افتادن خط تولید
- ۲ بالا رفتن هزینه‌های تعمیر و نگهداری
- ۳ آلودگی محصولات صنعتی: اگر قوطی کنسرو خورده شود ماده غذایی داخل آن فاسد می‌شود.
- ۴ خطرات فاجعه آمیز: خوردگی لوله‌های سوخت در نیروگاه‌های اتمی
- ۵ آلودگی محیط‌زیست: هر تخریبی در نهایت منجر به آلودگی محیط‌زیست می‌شود.

### استفاده از واکنش‌های خوردگی:

با وجود اثرات بسیار زیان‌بار خوردگی، در صنعت مواردی مهم وجود دارد که واکنش‌های خوردگی مورد بهره‌گیری قرار گرفته شده است، مانند:

- ۱ آبکاری یا پوشش‌دهی
- ۲ آندایز کردن AI برای به‌دست آوردن ظاهر مطلوب و پوسته اکسیدی مقاوم در برابر خوردگی
- ۳ الکترواچ یا الکتروپولیش
- ۴ ماشین‌کاری الکتروشیمیایی: این روش در مواردی اقتصادی‌تر است که قطعات سخت بوده و به‌وسیله روش‌های معمول به سختی ماشین‌کاری می‌شوند. خالی کردن استوانه توپر به منظور ساخت لوله تانک
- ۵ باتری و پیل‌ها
- ۶ الکترولیز: مس در معدن را از طریق الکترولیز خالص‌سازی می‌کنیم.

## انواع خوردگی فلزات

عوامل اصلی ایجاد پدیده خوردگی را می‌توان مطابق شکل (۲) به دو دسته تقسیم کرد که ممکن است هر یک به تنهایی و یا به صورت توأم سبب خوردگی و تخریب فلزات شوند. بنابراین مکانیزم خوردگی مواد فلزی بستگی به عوامل خورنده موجود در محیط دارد.



شکل ۲- عوامل ایجاد خوردگی

### ۱ خوردگی شیمیایی

سطح اکثر فلزات در اثر تأثیر عوامل شیمیایی تغییر می‌کند. در این فعل و انفعالات وجود اکسیژن و در نتیجه اکسیداسیون نقش مهمی را بازی می‌کند و از آن گذشته مایعات (رطوبت هوا، اسیدها، بازها و محلول نمک‌ها)، گازها و بخارات نیز اثر شیمیایی روی فلزات پدید می‌آورند و باعث ایجاد خوردگی در سطح آنها می‌شود. در مورد خوردگی شیمیایی فلزات می‌توان به انحلال مقادیر کم مواد فلزی توسط حلال‌های آلی مثل انحلال آلومینیوم در کربن تتراکلرید و استون اشاره کرد و یا انحلال فلزات در جیوه مثال دیگری از خوردگی فلزات با مکانیزم شیمیایی است.

### ۲ خوردگی الکتروشیمیایی

الکتروشیمیایی واکنشی است که ۱- شیمیایی بوده و ۲- تبادل الکترون در آن صورت گیرد. به طوری که اگر یک مایع حاوی یون‌های مثبت و منفی (الکترولیت) مابین دو فلز غیرهم‌جنس متصل به هم با یک هادی الکتریسیته قرار گیرد باعث ایجاد خوردگی در یکی از آنها خواهد شد. **آند:** سطحی است که روی آن واکنش اکسیداسیون رخ می‌دهد و فلز تمایل به از دست دادن الکترون دارد. در نتیجه به طور معمول دچار انحلال یا خوردگی می‌شود. **کاتد:** سطحی است که روی آن واکنش احیا رخ می‌دهد و فلز تمایل به گرفتن الکترون دارد، در نتیجه دچار انحلال یا خوردگی نمی‌شود. **الکترولیت:** محلولی است که نقش آن هدایت جریان الکتریکی از طریق حرکت یون‌های مثبت و منفی در داخل آن می‌باشد. بنابراین خوردگی الکتروشیمیایی زمانی اتفاق می‌افتد که در اثر تماس فلز با محیط پیرامون خود یک پیل الکتروشیمیایی تشکیل شود. شکل (۳) اجزای اصلی تشکیل دهنده پیل الکتروشیمیایی را نشان می‌دهد.



شکل ۳- اجزای اصلی پیل الکتروشیمیایی خوردگی

فلزات و آلیاژهای با پتانسیل الکتروشیمیایی مثبت تر تمایل کمتری نسبت به اکسید شدن و خوردگی دارند (نجیب ترند). برعکس فلزات و آلیاژهایی که دارای پتانسیل الکتروشیمیایی منفی تر هستند؛ یعنی تمایل بیشتری به خوردگی دارند (فعال ترند). بنابراین چنانچه دو فلز با جنس متفاوت در محیط مرطوب در تماس با یکدیگر قرار گیرند، فلز فعال تر که دارای پتانسیل الکتروشیمیایی منفی تر است با سرعت بیشتری دچار خوردگی می شود.

### انواع خوردگی از نظر مکانیزم خوردگی

خوردگی را می توان به روش های مختلف طبقه بندی کرد. اساسی که در این کتاب مورد استفاده قرار گرفته است، ظاهر و شکل فلز خورده شده است. به این روش که فقط با مشاهده فلز خورده شده می توان نوع خوردگی را مشخص کرد. برای تشخیص نوع خوردگی در اکثر موارد چشم غیر مسلح کافی است، اما گاهی اوقات بزرگ نمایی ذره بین یا میکروسکوپ هایی با بزرگ نمایی های کم، مفید خواهد بود. در جدول ۱ تصاویری از انواع خوردگی آورده شده است.

جدول ۱- انواع خوردگی

نوع خوردگی	شکل
خوردگی گالوانیکی	خوردگی یکنواخت
خوردگی شیار	خوردگی فرسایشی
خوردگی حفره ای	خوردگی هیدروژنی
خوردگی مرز دانه ای	خوردگی تنشی

## خوردگی یکنواخت



شکل ۴-لوله فولادی که تحت خوردگی یکنواخت قرار گرفته.

خوردگی یکنواخت متداول ترین نوع خوردگی است. معمولاً به وسیله یک واکنش شیمیایی که به طور یکنواخت در سرتاسر سطحی که در تماس با محلول خورنده قرار دارد، مشخص می شود. فلز نازک و نازک تر شده و نهایتاً از بین می رود یا تجهیزات مورد نظر تخریب می شود. مثلاً یک قطعه فولاد یا روی در داخل یک محلول رقیق سولفوریک اسید معمولاً با سرعت یکسانی در تمام نقاط قطعه خورده خواهد شد (شکل ۴). تصویری از لوله فولادی که در محیط مرطوب تحت خوردگی یکنواخت قرار گرفته است را نشان می دهد.

با استفاده از روش های زیر می توان قطعات را در برابر خوردگی یکنواخت حفاظت کرد.

**۱ پوشش دادن:** با پوشش سطح فلز را از عوامل محیطی جدا می کنیم. که پوشش ها می توانند به صورت فلزی و یا پوشش آلی (رنگ) باشند.

**۲ استفاده از بازدارنده های خوردگی:** بازدارنده های خوردگی ترکیبات آلی و معدنی هستند که بر روی سطح ترکیب پایدار می دهند در نتیجه فلز را از محیط جدا کرده و جلوی خوردگی را می گیرند. فرق این مورد با پوشش این است که پوشش انواع دیگری هم دارد مثل رنگ اما بازدارنده خوردگی ترکیبی از فلز است.

**۳ با استفاده از حفاظت کاتدی:** فلز وقتی خورده می شود که آند باشد. در حفاظت کاتدی فلز را از حالت آند در آورده و به کاتد تبدیل می کنیم. سرعت خوردگی در خوردگی یکنواخت با استفاده از رابطه زیر به دست می آید:

$$\text{رابطه (۱)} = \frac{534 \Delta W}{\rho \cdot A \cdot T} = \text{سرعت خوردگی (اینچ / سال)}$$

در این رابطه  $\Delta W$  اختلاف وزن نمونه قبل و بعد از وارد کردن در داخل محلول بر حسب میلی گرم،  $\rho$  چگالی نمونه بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب،  $A$  مساحت نمونه بر حسب اینچ مربع و  $T$  زمان بر حسب ساعت می باشد. عدد ۵۳۴ ضریب تبدیل واحد است که در نهایت سرعت خوردگی بر حسب اینچ بر سال به دست می آید.





## خوردگی پیچ فولادی

مواد و تجهیزات مورد نیاز: پیچ فولادی بدون پوشش، بشر  $250^{\circ}\text{C}$ ، پیپت، پیپت پر کن یا پمپ مکنده، خشک کن، سنباده، اره، کلریدریک اسید  $10\%$

### مراحل انجام کار:

- ۱ پیچ فولادی بدون پوشش را به طول  $50$  میلی‌متر انتخاب کنید.
- ۲ محلول  $\text{HCl } 10\%$  را آماده کرده و نمونه را در داخل آن به مدت  $1$  هفته قرار دهید. برای آماده‌سازی محلول  $\text{HCl } 10\%$  باید به ازای هر  $10$  میلی لیتر اسید  $90$  میلی لیتر آب مقطر اضافه کرد. در این آزمایش  $200^{\circ}\text{C}$  محلول تهیه کنید. ابتدا  $100^{\circ}\text{C}$  آب مقطر داخل بشر بریزید و سپس مقدار  $200^{\circ}\text{C}$  کلریدریک اسید را توسط پیپت به آن اضافه کنید و بعد از آن تا اندازه‌ای آب مقطر به آن اضافه کنید تا محلول به حجم  $200^{\circ}\text{C}$  برسد.
- ۳ بعد از گذشت زمان مشخص شده نمونه را از داخل محلول خارج کرده و با آب شست‌وشو داده و خشک کنید. نتایج را به همراه پاسخ سؤالات در گزارش کار تحویل هنرآموز محترم دهید.

### نکات ایمنی



- حتماً از وسایل ایمنی مانند ماسک تنفسی، دستکش، عینک، روپوش آزمایشگاهی و کفش ایمنی استفاده کنید.
- از استنشام، چشیدن یا لمس کردن مواد شیمیایی جداً خودداری کنید.
- توجه داشته باشید که همیشه اسید را به آب اضافه کنید و به هیچ عنوان آب را به اسید غلیظ اضافه نکنید.
- هرگاه ماده شیمیایی مانند اسید یا باز، روی میز، زمین یا لباس شما بریزد، در اسرع وقت آن را با مقدار زیادی آب بشویید.
- هنگام کار با پیپت از مکیدن پیپت برای بالا کشیدن مایعات خودداری کنید و از پیپت پرکن استفاده کنید.
- برای تهیه محلول اسید، در زیر هود کار کنید.

### نکته زیست محیطی



- مصرف متناسب با نیاز علاوه بر صرفه جویی و کاهش مواد زائد باعث تخریب کمتر محیط زیست می‌شود.
- برای جلوگیری از اثرات تخریبی تبخیر محلول‌های شیمیایی، پس از تهیه محلول آن را در ظرف‌های در بسته نگهداری کنید. توجه داشته باشید که کلریدریک اسید، سبب اسیدی شدن آب و خاک می‌شود.
- برای بیرون ریختن آن ابتدا با مقداری مواد قلیایی آن را خنثی کنید و سپس آن را در سیستم فاضلاب آزمایشگاه بریزید.

### بحث گروهی



- چه تغییراتی در نمونه مشاهده می‌کنید؟
- چه قسمتهایی از نمونه بیشتر خورده شده است؟ دلیل آن چیست؟
- آیا پیچ فولادی را بعد از خوردگی می‌توان مورد استفاده قرار داد؟
- پس از بحث و گفتگو پاسخ تحلیلی خود را به همراه گزارش کار تحویل هنرآموز خود دهید.



### اندازه گیری سرعت خوردگی

**مواد و تجهیزات مورد نیاز:** نمونه‌های فولادی و مسی و آلومینیومی، بشر ۲۵۰ CC، کلریدریک اسید ۱۰٪، پیپت، پیپت پرکن، ترازوی آزمایشگاهی، خشک کن، سنباده

**مراحل انجام آزمایش:**

- ۱ مکعب‌هایی از جنس فولاد، مس و آلومینیوم در ابعاد  $۱۰ \times ۲۰ \times ۳۰$  میلی‌متر را انتخاب کنید.
  - ۲ سطح مکعب‌ها را سنباده بزنید تا اکسیدها و سایر ناخالصی‌ها از روی آنها تمیز گردند.
  - ۳ وزن مکعب‌های تمیز شده را توسط ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری کرده و سپس سطح کل آنها را محاسبه کنید.
  - ۴ محلول HCl ۱۰٪ را طبق اصول فعالیت شماره (۱) آماده کرده و نمونه‌ها را در داخل آن به مدت ۱ هفته قرار دهید.
  - ۵ بعد از گذشت زمان مشخص شده نمونه‌ها را از داخل محلول خارج کرده و با آب شست‌وشو داده و خشک کنید.
  - ۶ نمونه‌های خشک شده را وزن کرده و میزان کاهش وزن آنها را یادداشت کنید.
  - ۷ نتایج و اعداد به دست آمده را در رابطه (۱) قرار داده و سرعت خوردگی نمونه‌های مختلف را به دست آورید.
- نتایج را به همراه پاسخ سؤالات در گزارش کار تحویل هنرآموز محترم دهید.



- کدام یک از نمونه‌ها بیشتر خورده شده است؟ دلیل آن چیست؟
- میزان خورده شدن نمونه بعد از مدت زمان یک ماه را به دست آورید؟

### خوردگی گالوانیکی



- وقتی دو فلز غیرهمجنس در محیط مرطوب در اتصال باهم باشند، خوردگی در کدام یک سریع‌تر اتفاق می‌افتد؟ چرا؟
- چنانچه دو فلز با جنس متفاوت در محیط مرطوب در تماس با یکدیگر قرار گیرند، کدام یک به عنوان آند و کدام یک به عنوان کاتد عمل می‌کنند؟



- پس از بحث و گفتگو پاسخ تحلیلی خود را به همراه گزارش کار تحویل هنرآموز خود دهید.

در سال ۱۷۶۱ میلادی بررسی‌های تصادفی که بر روی کشتی‌های جنگی انجام شد واقعه‌ای جدی از نقش خوردگی را در تخریب مواد نمایان ساخت. کشتی‌های چوبی را با لایه‌ای نازک از مس می‌پوشاندند که برای این کار آنها را توسط میخ‌های فولادی محکم به بدنه کشتی نصب می‌کردند. بعد از چند مدت متوجه می‌شدند که ورق‌های مسی از بدنه کشتی در چندین نقطه جدا شده است که به دلیل از بین رفتن میخ‌های فولادی بوده است ولی در بعضی نقاط که میخ‌های فولادی با لایه‌ای از کاغذ پوشانده شده بود، میخ‌ها دست نخورده باقی مانده بودند.



- چرا میخ‌های فولادی از بین رفته بودند ولی ورق مسی سالم مانده بود؟
- چرا میخ‌هایی پوشانده شده توسط کاغذ نیز سالم مانده بودند؟

زمانی که دو فلز غیر هم‌جنس که در تماس الکتریکی با یکدیگر هستند، در معرض یک محلول هادی یا خورنده قرار بگیرند، خوردگی فلزی که مقاومت خوردگی کمتری دارد، افزایش یافته و بر عکس، خوردگی فلز مقاوم‌تر، تقلیل می‌یابد. فلزی که مقاومت خوردگی کمتری دارد آندی شده و فلز مقاوم‌تر (از نظر خوردگی) کاتدی می‌شود. این نوع خوردگی، خوردگی گالوانیکی یا دو فلزی نامیده می‌شود مکانیزم این نوع خوردگی، الکترو شیمیایی است. شکل (۵) یک نمونه از خوردگی گالوانیکی را نشان می‌دهد.



شکل ۵- تشکیل پیل گالوانیک به دلیل نصب پلاک و قفل از جنس آلایژ مس روی ستون فولاد کربنی



باتوجه به شکل زیر در اتصال لوله فولادی با شیر برنجی لوله فولادی خورده می‌شود. دلیل آن چیست؟

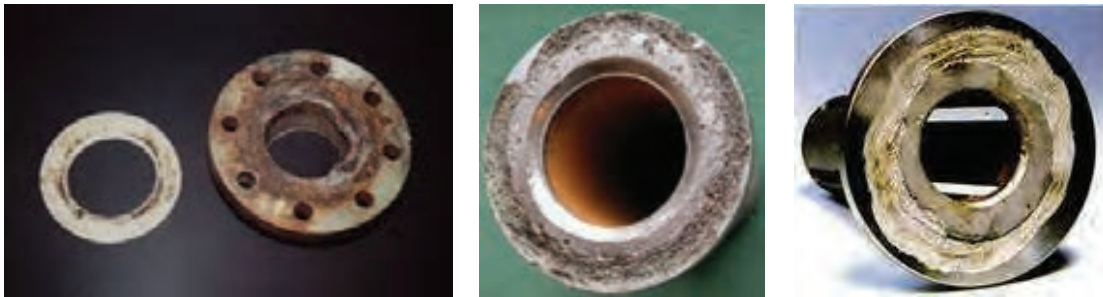
در صنعت فلزات کنار هم قرار دارند، پس خوردگی گالوانیکی داریم. معمولاً در اتصالات خوردگی گالوانیکی به شدت وجود دارد، مانند اتصالات پیچ و مهره، لحیم کاری و جوشکاری. معمولاً اولین جایی که در اتصالات خورده می‌شود پیچ و مهره است و برای این کار، مهره از فولاد ساده کربنی است و پیچ را با کرم یا نیکل پوشش می‌دهند در نتیجه پیچ مقاوم‌تر و براق‌تر است و مهره آند می‌شود.



شکل ۶- خوردگی گالوانیکی در اثر اتصال دو فلز متفاوت کنار هم

## خوردگی شیاری یا شکافی

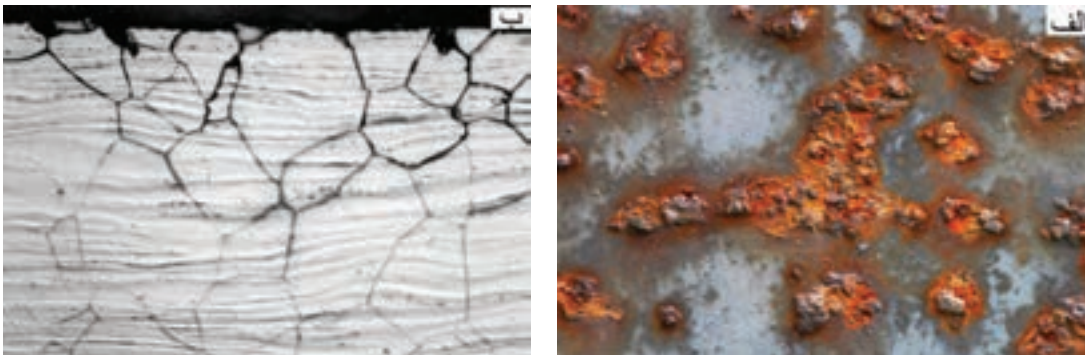
این نوع خوردگی معمولاً در شیاریهایی که در معرض محیط خورنده قرار دارند منجر به خوردگی موضعی شدیدی می شود و معمولاً همراه با حجم های کوچک محلول ها یا مایعاتی که در اثر وجود سوراخ، سطوح و اشرفا، محل روی هم قرار گرفتن دو فلز، رسوبات سطحی و شیاریهای زیر پیچ، مهره ها و میخ پرچ ها ساکن شده اند یا به اصطلاح حالت مرده پیدا کرده اند، ایجاد می شود. این سازوکار وقتی رخ می دهد که یک عامل خورنده در فاصله ای باریک، بین دو جزء وجود داشته باشد. با پیشرفت واکنش، غلظت عامل خورنده افزایش می یابد. بنابراین واکنش با نرخ فزاینده ای پیشروی می کند. شکل (۷) نمونه هایی از خوردگی شیاری را نشان می دهد.



شکل ۷- نمونه هایی از خوردگی شیاری

## خوردگی مرز دانه ای

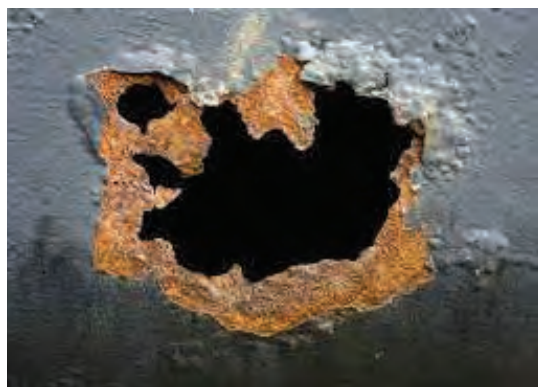
این خوردگی میکروسکوپی است که گاهی خوردگی بین دانه ها و گاهی از داخل دانه شروع می شود که به ترتیب به آنها خوردگی بین دانه ای و درون دانه ای می گویند. این نوع خوردگی وقتی رخ می دهد که مرز دانه ها در یک فلز پلی کریستال به صورت ترجیحی مورد حمله قرار می گیرد. چندین عامل می توانند آلیاژی مثل فولاد زنگ نزن آستنیتی را مستعد این نوع خوردگی کنند؛ از جمله حضور ناخالصی ها و غنی بودن یا تهی بودن مرز دانه از یکی از عناصر آلیاژی. شکل (۸) خوردگی مرز دانه ای را نشان می دهد، همان طور که در شکل (۸) (ب) زیر میکروسکوپ دیده می شود، قطعات از سطح بالایی، دچار خوردگی می شوند و به سطوح پایین نمی رسد.



شکل ۸- (الف) تصویر ماکروسکوپی و (ب) تصویر میکروسکوپی از خوردگی مرز دانه ای

## خوردگی حفره‌ای

مخرب‌ترین نوع خوردگی در صنعت است و از نوع موضعی است. این نوع خوردگی تقریباً همیشه به وسیله یون‌های کلر و کلرید ایجاد می‌شود و به ویژه برای فولاد ضد زنگ بسیار مخرب است؛ چون در این خوردگی، قطعه با چند درصد کاهش وزن نسبت به وزن واقعی‌اش، به راحتی دچار شکست می‌شود. معمولاً عمق این حفرات برابر یا بیشتر از قطر آنهاست و با رشد حفرات، ماده سوراخ می‌شود. تفاوت آن با خوردگی شیاری در این است که در خوردگی شیاری، شیاری از قبل روی قطعه وجود دارد ولی در این خوردگی معلوم نیست حفره از کجا و چه زمانی به وجود می‌آید پس خیلی خطرناک بوده و غیر قابل پیش‌بینی است. در محیط‌های شیمیایی و مرطوب همواره احتمال این نوع خوردگی وجود دارد. خوردگی حفره‌ای سیستم را از کار می‌اندازد و عامل بسیاری از تخریب‌ها است، پس نباید منبع و منشأ حفره را در فلز ایجاد کرد. باید سطح فلز را صیقلی کنیم چرا که وجود حفره، جوانه‌ای برای شروع خوردگی حفره‌ای است. شکل (۹) نمونه‌هایی از خوردگی حفره‌ای را نشان می‌دهد.

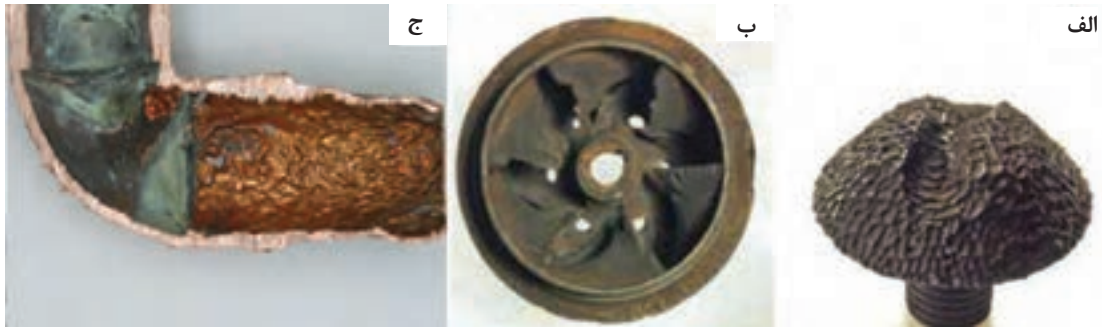


شکل ۹- خوردگی حفره‌ای

## خوردگی سایشی یا فرسایشی

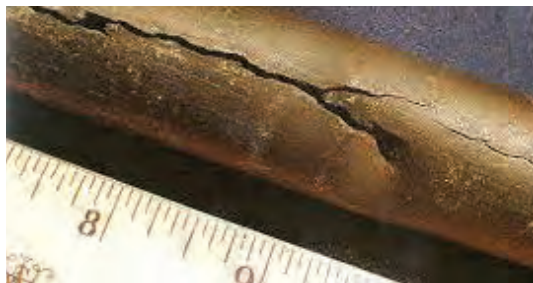
نسبت به یک محیط ثابت دیگر حرکت کند (به عنوان نمونه مایع یا دوغابی که درون یک لوله جریان دارد) یک پدیده مرتبط با این گونه خوردگی، سایش است که هنگام تماس دو ماده با یکدیگر و حرکت نسبی آنها از جمله ارتعاش به وجود می‌آید. این عمل می‌تواند پوشش‌های ضد خوردگی را از بین برده و باعث آغاز خوردگی شود. شکل (۱۰) نمونه‌هایی از خوردگی سایشی در صنعت را نشان می‌دهد.

خوردگی سایشی عبارت است از افزایش سرعت خوردگی یا از بین رفتن یک فلز در اثر حرکت نسبی بین یک مایع خورنده و سطح فلز. این نوع خوردگی در اثر عوامل شیمیایی خورنده و عوامل فیزیکی ساینده به وجود می‌آید. در این فرایند یون‌های فلزی حل شده روی سطح فلز، در اثر حرکت سیال روی سطح باقی‌مانده و یا محصولات جامد حاصل از خوردگی از سطح فلز به طریق مکانیکی جدا می‌شوند. این نوع خوردگی وقتی رخ می‌دهد که محیطی



شکل ۱۰- (الف) پیچ در محلول خورنده حاوی ذرات ساینده دچار خوردگی فرسایشی شده است. (ب) پره پمپ به دلیل قرار گرفتن در محلول خورنده حاوی ذرات ماسه دچار خوردگی فرسایشی شده است. (ج) لوله فولادی که در اثر وجود سیال داخل آن دچار خوردگی فرسایشی شده است.

### خوردگی تنشی



شکل ۱۱- خوردگی تنشی

بسیاری از تخریب‌هایی که در خوردگی می‌بینیم خوردگی تنشی هستند مثلاً یک لوله بعد از مدتی کاملاً تغییر شکل می‌دهد و یک مقطعی از آن باز می‌شود چرا که لوله تحت فشار داخلی بوده و به آن تنش وارد شده است. پس استحکام خود را از دست داده و در آن تغییر شکل ایجاد شده است.

خوردگی تنشی عبارت است از ترک خوردن در اثر خوردگی توأم با تنش که نتیجه اعمال هم‌زمان تنش‌های کششی و محیط خورنده روی فلز است. در این شرایط ترک‌های ریزی که ناشی از فرایندهای خوردگی موضعی هستند، در داخل فلز یا آلیاژ پیشرفت می‌کنند. در شکل (۱۱) تصویری از خوردگی تنشی را مشاهده می‌کنید.

### خوردگی هیدروژنی

این نوع خوردگی در دمای کمتر از  $20^{\circ}\text{C}$  رخ می‌دهد که در آن هیدروژن داخل فلز یا آلیاژ نفوذ می‌کند و با تشکیل مولکول گاز  $\text{H}_2$  از به هم پیوستن دو اتم هیدروژن باعث ایجاد فشار داخلی در قطعه و بادکردگی یا ترکیدگی در محل‌های مشخصی در قطعه می‌شود. شکل (۱۲) تصاویری از خوردگی هیدروژنی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲- خوردگی هیدروژنی

## راهکارهای جلوگیری از خوردگی

در حالت کلی جهت کاهش میزان خوردگی و حفاظت مواد در برابر این پدیده مخرب چهار راهکار اساسی وجود دارد:

- ۱- طراحی مناسب
- ۲- انتخاب مواد مناسب
- ۳- تغییر شرایط محیط خوردنده
- ۴- استفاده از پوشش محافظ.

به طور معمول ترکیبی از روش‌های مذکور برای حفاظت از مواد، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

**طراحی و انتخاب مواد مناسب:** هنگام طراحی قطعات، طراحان باید مسایل مربوط به خوردگی را در نظر بگیرند و تا حد ممکن سعی کنند عوامل مؤثر در خوردگی را کاهش داده و یا شرایط ایجاد آن را از بین ببرند و از مواد مناسب در جای مناسب استفاده کنند. اگر قطعات در محیط خوردنده قرار می‌گیرند لازم است از فلز با مقاومت بیشتر در برابر خوردگی استفاده شود.

**تغییر شرایط محیط خوردنده:** یکی دیگر از راهکارهای کاهش میزان خوردگی و حفاظت از مواد، تغییر در شرایط محیط خوردنده است. برای این منظور می‌توان اقدامات زیر را انجام داد:

- ۱- حذف یا کاهش عوامل خوردنده از طریق فیلتر کردن مواد مضر و جلوگیری از ورود آنها به محیط مثل فیلتراسیون گازهای خروجی از دودکش واحدهای صنعتی.
- ۲- اضافه کردن مواد شیمیایی به محیط پیرامون سازه فلزی جهت خنثی کردن اثر مواد خوردنده است. در این خصوص می‌توان به عملیات بهسازی و تصفیه آب‌های صنعتی مورد استفاده در صنایع مختلف مثل نیروگاه‌ها و پالایشگاه‌ها اشاره کرد. به منظور کاهش اثرات خوردگی روی سازه‌های صنعتی، مواد خوردنده و مضر موجود در آب قبل از استفاده حذف می‌شوند.
- ۳- با استفاده از حفاظت کاتدی

**استفاده از پوشش‌های محافظ:** عملکرد پوشش نسبت به شرایط سطح قطعه و تمیز بودن آن قبل از اعمال پوشش بسیار حساس است، بنابراین باید قبل از اعمال پوشش هرگونه آلودگی مانند پلیسه، زنگار، چربی، جرقه‌های جوشکاری و غیره از روی سطح قطعه تمیز شوند. همچنین در موقع اعمال پوشش لازم است دقت شود که پوشش به‌طور کامل روی سطح قطعه را بپوشاند و یا در صورت تخریب موضعی، نسبت به ترمیم پوشش اقدام گردد.

### بررسی خوردگی شیاری در فولاد زنگ نزن

**مواد و تجهیزات مورد نیاز:** ورق فولادی زنگ نزن، سنباده، بشر یک لیتری، کش، آب مقطر، ۲ عدد چوب پنبه، فریک کلرید

#### مراحل انجام آزمایش

- ۱ ابتدا ورق فولادی زنگ نزن را در ابعاد  $25 \times 50$  میلی‌متر به ضخامت ۲ میلی‌متر آماده کنید.
- ۲ نمونه را سنباده بزنید تا اکسیدها و ناخالصی‌های دیگر از بین بروند.
- ۳ محلول فریک کلرید را در حجم ۷۵ cc آماده کنید. برای آماده‌سازی این محلول مقدار  $122/25$  گرم فریک کلرید را در ۷۵ cc آب مقطر در داخل یک بشر یک لیتری خوب حل کنید.
- ۴ نمونه را مطابق شکل در وسط دو چوب پنبه قرار دهید و کش را در اطراف آن بگذارید تا ثابت بماند.
- ۵ نمونه را در داخل بشر حاوی محلول قرار دهید.

فعالیت  
کارگاهی ۳





- ۶ بعد از گذشت یک هفته نمونه را از بشر بیرون بیاورید.
- ۷ نمونه را با آب تمیز کرده و خشک کنید.
- ۸ مشاهدات خود را نوشته و در کلاس بحث کنید.

- هرگز بدون روپوش، دستکش، ماسک تنفسی، عینک و سایر وسایل ایمنی مناسب فعالیت را انجام ندهید.
- فعالیت را زیر هود انجام دهید.
- از ریختن مواد شیمیایی روی ترازو خودداری کنید.
- در انجام کار با اسیدها و بازها مراقب باشید زیرا تماس پوست با اسیدها و بازهای قوی موجب سوختگی می شود.

نکته ایمنی



- هرگز ظروف حاوی مواد و محلول ها را بدون درپوش مناسب نگهداری نکنید تا ضمن جلوگیری از آلودگی هوای آزمایشگاه، از آلودگی نمونه ها با مواد خارجی جلوگیری شود.

نکته زیست محیطی



- خوردگی شیاری جزء کدام یک از خوردگی ها است؟
- برای جلوگیری از خوردگی شیاری چه راه حل هایی پیشنهاد می کنید.

پرسش





## واحد یادگیری ۲: عملیات پوشش دهی

می‌توان یک لایه نازک از آن فلز را بر روی فلزی دیگر که هم از لحاظ اقتصادی و هم از لحاظ خواص مکانیکی مناسب است استفاده کرد. در بسیاری از موارد کاربرد آلیاژهای گران قیمت مقاوم در مقابل خوردگی عمل چندان صحیحی نیست، بلکه از لحاظ اقتصادی استفاده از فولادهای ساده کربنی به دلیل قیمت پایین و قابلیت تغییر شکل آسان ارجحیت دارد. در این گونه موارد توصیه می‌شود که سطح قطعات فولادی با استفاده از پوشش‌های سطحی در مقابل خوردگی محافظت شود.

پوشش‌ها برای مقاصد گوناگون به کار گرفته می‌شوند: برای زیبایی بخشیدن به قطعات تزئینی و صنعتی، جلوگیری از خوردگی و افزایش عمر قطعات در محیط‌های مختلف کاری، بهبود خواص سطحی، هدایت الکتریکی و همچنین از لحاظ خواص بهداشتی. از لحاظ اقتصادی نیز برخی از فلزات مقاوم در برابر محیط‌های خورنده گران قیمت هستند و یا برخی خواص مکانیکی آنها پایین است و نمی‌توان به عنوان جنس قطعه اصلی از آن استفاده کرد بنابراین توسط عملیات پوشش دادن

## استاندارد عملکرد کار

انجام عملیات پوشش دهی سرد و گرم بر روی فولادها براساس استانداردها و دستورالعمل‌های مربوطه

## پیش نیاز

آشنایی با انواع اسیدها و بازها، نحوه کار با مواد شیمیایی و تجهیزات آنها.

## پوشش دهی

یکی از دلایل اصلی استفاده از پوشش در سازه‌های صنعتی حفاظت آنها در برابر خوردگی می‌باشد. پوشش به عنوان سدی در برابر حمله عوامل خوردنده به سطح قطعه یا سازه عمل می‌کنند و مانع از تماس این عوامل با سطح می‌شوند.

فعالیت کلاسی



### جدول زیر را کامل کنید.

نوع محصولات	شکل	اهداف پوشش دهی	جنس فلز پایه	جنس لایه پوششی	روش پوشش دهی
شیر آب					
پیچ و مهره					
قوطی کنسرو					

فلز مورد نظر اعمال شود. پوشش‌ها می‌توانند در انواع مختلف فلزی، سرامیکی و پلیمری وجود داشته باشند. از مهم‌ترین روش‌هایی که برای اعمال پوشش فلزی به کار می‌روند می‌توان، غوطه‌ور کردن در فلز مذاب، آبکاری الکترولیتی، پاشیدن فلز مذاب به کمک پیستوله، آلیاژ کردن سطحی و روکش فلزی را نام برد.

### غوطه‌ور کردن در فلز مذاب:

در این روش باید ابتدا سطح قطعه مورد نظر را به وسیله اسید کاملاً تمیز کرده و چربی آن را برطرف کرد، سپس قطعه را در فلز مذاب (به عنوان مثال روی، سرب و یا قلع مذاب) غوطه‌ور کرد، تا پس از خروج، لایه نازکی از فلز مذاب بر روی سطح آن قرار گیرد. در شکل (۱۳) تصویری از پوشش دادن به روش غوطه‌وری آورده شده است.

پوشش‌ها علاوه بر محافظت در مقابل خوردگی برای اهدافی از قبیل افزایش سختی، مقاومت به سایش، کاهش انتقال گرما و الکتروسیته و کاهش قابلیت انعکاس نور نیز به کار می‌روند. در انتخاب ماده پوشش علاوه بر توجه به خواص مورد نظر در ارتباط با کاربرد آن باید عوامل اقتصادی هم مورد توجه قرار بگیرد. پوشش دهی به فرایندی گفته می‌شود که در آن سطح یک ماده را با لایه‌ای از ماده دیگر بپوشانند.

فرایند پوشش دهی فلزات به روش‌های مختلف پوشش دهی سرد و گرم انجام می‌گیرد که در اینجا چند روش از این فرایندها با یا بدون استفاده از جریان برق آورده شده است. برای انجام فرایند پوشش دهی فلزات نیاز است تا مراحل آماده‌سازی سطحی فلزات برای پوشش دهی به خوبی انجام شود تا یک پوشش چه به صورت سرد و چه به صورت گرم با کیفیت عالی بر روی



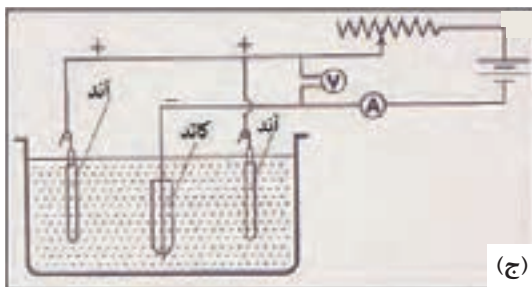
شکل ۱۳- پوشش دهی فلزات به روش غوطه‌وری داخل روی مذاب.



(الف)



(ب)



(ج)

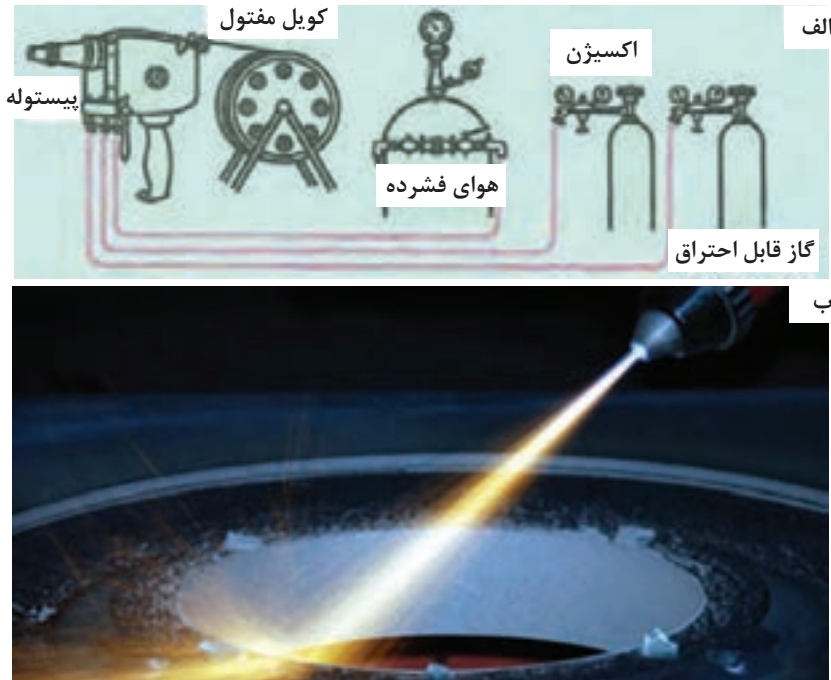
شکل ۱۴- (الف و ب) قسمتهایی از خطوط آبکاری نیکل در صنعت، (ج) شماتیکی از اجزا و نحوه آبکاری نیکل با جریان برق

### آبکاری الکترولیتی:

امروزه پوشش دهی الکتریکی (آبکاری) تا حدی توسعه یافته است که نه تنها مرحله نهایی تولید بعضی محصولات است بلکه برای ایجاد پوشش‌های محافظی مثل کادمیم، کروم یا اکسید آلومینیوم روی قطعات به کار می‌رود. پوشش دهی الکتریکی می‌تواند با فلزاتی نظیر نیکل، کروم، مس، روی، کادمیم، قلع، نقره، طلا و پلاتین انجام پذیرد. اساس پوشش دهی الکتریکی به این صورت است که در اثر عبور جریان مستقیم از یک الکترولیت فلز محلول در آن روی کاتد رسوب کرده و سپس مقداری از فلز آند وارد محلول می‌شود به این ترتیب ترکیب الکترولیت ثابت می‌ماند.

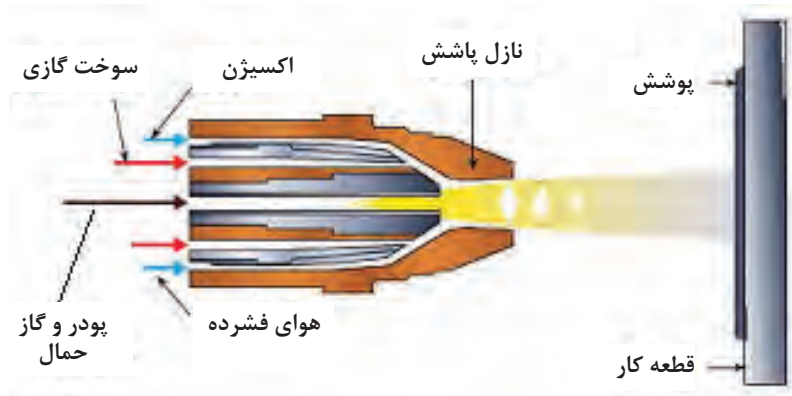
با استفاده از برق جریان مستقیم و یک مایع الکترولیت می‌توان لایه نازک و یکنواختی از یک فلز را بر روی فلزی دیگر قرار داد. برای این منظور باید مایع الکترولیت را حتماً از محلول نمک فلز پوشش انتخاب کرد و قطعه کار را به قطب منفی و صفحه ای از فلز پوشش را به قطب مثبت متصل کرد. با عبور جریان از داخل مایع، ذرات فلز مورد نظر به صورت لایه نازکی بر روی سطح قطعه قرار می‌گیرند. در شکل (۱۴) خطوطی از آبکاری نیکل نشان داده شده است که در این پودمان انجام آن به طور کامل توضیح داده خواهد شد.

پاشیدن فلز مذاب به کمک پیستوله (Metal spray): در این روش به کمک پیستوله، فلز پوشش را که به صورت مفتول و یا پودر است از طریق حرارتی که به وسیله گاز قابل اشتعال و یا قوس الکتریکی تأمین می شود به صورت مایع درمی آورند و سپس به کمک هوای فشرده به صورت ذرات ریزی بر روی قطعه مورد نظر می پاشند که در شکل (۱۵) به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۱۵- الف) شماتیکی از اجزای اصلی در پوشش دهی به روش پاشیدن فلز مذاب به کمک پیستوله  
ب) پاشیدن فلز مذاب به کمک پیستوله

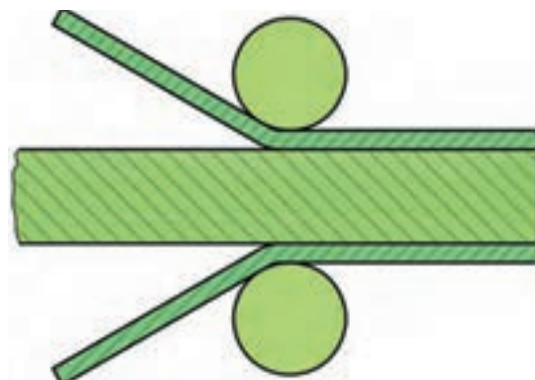
با این روش می توان فلزاتی مانند روی، آلومینیوم و فولادهای آلیاژی را نیز به عنوان پوشش بر روی فلز مورد نظر اعمال کرد. استفاده از روش پاشیدن به کمک پیستوله، همیشه به عنوان پوشش محافظ در مقابل خوردگی مورد استفاده نیست بلکه در تعمیرات نیز ممکن است به کار گرفته شود. شکل (۱۶) داخل پیستوله و نحوه ترکیب شدن مواد آن را نشان می دهد.



شکل ۱۶- نحوه ترکیب شدن مواد در داخل پیستوله

## آلیاژ کردن سطحی:

این روش بر مبنای انتقال حرارت از طریق برخورد سطحی مولکول‌هایی بنا شده است که باعث ایجاد اختلاط ذرات در محل برخورد می‌شوند. به عنوان مثال می‌توان از کروم‌دار کردن سطح فولادها نام برد که در این روش لایه نازکی از سطح خارجی قطعات را به وسیله کروم آلیاژ می‌کنند. از محاسن کروم‌دار کردن می‌توان از عدم تورق قشر محافظ را نسبت به گالوانیزه کردن نام برد، و از نظر مقاومت در مقابل خوردگی با فولادهای آلیاژی کروم‌دار قابل مقایسه‌اند.



شکل ۱۷- پوشش‌دهی به روش روکش فلزی

## روکش فلزی:

نیمه ساخته‌ها، مانند ورق یا پروفیل را که از فلزات سنگین و یا فلزات سبک ساخته شده باشند می‌توان به وسیله کشیدن یک صفحه فلزی مقاوم در برابر خوردگی بر روی آنها به کمک نورد پوشش داد. موادی که برای روکش فولادها انتخاب می‌شوند معمولاً عبارت‌اند از: مس، برنج، نیکل و آلومینیوم. در شکل (۱۷) تصویری از فرایند پوشش‌دهی به روش روکش فلزی آورده شده است.

در جدول زیر انواع پرکاربرد پوشش‌ها، روش‌ها و کاربرد آنها در صنعت آورده شده است که در این کتاب بیشتر در مورد پوشش‌های فلزی توضیح داده شده است.

ردیف	نوع پوشش	ماهیت پوشش	روش‌های متداول اعمال پوشش	تصویر
۱	فلزی	این پوشش‌ها ماهیت فلزی دارند و می‌توانند از یک عنصر فلزی باشند مانند پوشش گالوانیزه، قلع، طلا، نقره و کرم. پوشش می‌تواند از ترکیب دو یا چند فلز نیز تشکیل شده باشد.	۱- پاشش ۲- غوطه‌وری ۳- آبکاری	
۲	سرامیکی	این پوشش‌ها ماهیت معدنی دارند مانند انواع لعاب‌ها که روی ظروف سفالی یا فلزی اعمال می‌شوند.	۱- پاشش ۲- غوطه‌وری	
۳	پلیمری	این پوشش‌ها از مواد پلیمری هستند و بیشتر به منظور محافظت سازه‌های فلزی در محیط اتمسفری استفاده می‌شوند: نظیر اپوکسی، پلی اورتان، پلی‌استر.	۱- پاشش ۲- غوطه‌وری ۳- ابزار دستی	

### تجهیزات مورد استفاده در عملیات پوشش‌دهی

در انجام فرایند پوشش‌دهی نیاز به ابزار و وسایل آزمایشگاهی است که در جدول زیر آورده شده است. با توجه به شکل آنها نام و موارد کاربرد آنها را پیدا کرده و در جدول زیر بنویسید.

شکل	نام ابزار	کاربرد
	.....	
	.....	
	.....	

### آماده‌سازی سطح قطعات برای پوشش‌دهی

چگونه می‌توانیم چربی‌های روی سطح فلزات را از بین ببریم؟

مهم‌ترین عامل در پوشش‌دادن، میزان تمیزی سطح فلز در کیفیت پوشش‌دهی، آلی و یا معدنی اعمال شونده بر فلز اصلی بسیار مؤثر است. وجود گریس، روغن، مواد ناشی از خوردگی، گرد و غبار، شن، گرافیت و یا سایر مواد خارجی در میزان چسبندگی و مقاومت پوشش مؤثرند. اعمال پوششی با کیفیت بالا به نحوه آماده‌سازی سطح فلز اصلی بستگی دارد. کیفیت سطحی که آبکاری می‌شود باید بهتر از سطحی باشد که رنگ شده است. جهت آماده‌سازی سطح فلزات برای پوشش‌دهی مراحل زیر باید قبل از پوشش‌دهی بر روی فلزات انجام گیرد که عبارت‌اند از: ۱- سنباده‌زنی، ۲- چربی زدایی و ۳- اکسیدزدایی

**۱ سنباده‌زنی** به صورت مکانیکی سطح فلز را صیقلی و صاف می‌کند و مواد ناخواسته از روی آن تمیز می‌شود.

**۲ چربی زدایی** به منظور حفاظت موقتی، روغن کاری یا در هنگام عملیات مکانیکی مانند ماشین‌کاری، کشش، مته‌زنی و یا سایر عملیات سطحی به قطعات روغن و گریس می‌زنند. بنابراین روی قطعات فلزی اغلب روغن و گریس وجود دارد که می‌توان با محلول‌های قلیایی قوی مانند سدیم کربنات یا سودسوزآور چربی‌زدایی کرد.



**۲ اکسیدزدایی (اسیدشویی)** اصطلاح اسیدشویی به زدودن غبار، اکسید، شن و پوسته‌های ناشی از ریخته‌گری از روی سطح فلزات با وارد کردن آنها در محلول‌های اسیدی گفته می‌شود. اسیدشویی معمولاً در محلول محتوی ۱۲۰ گرم بر لیتر سولفوریک اسید در دمای حدود ۶۰ تا ۶۵ درجه سلسیوس و یا کلریدریک اسید ۳۰ درصد انجام می‌گیرد. این روش معمولاً برای اسیدشویی آهن و فولاد یا مس استفاده می‌شود. همچنین برای برنج، نقره و آلیاژهای نیکل می‌توان به کار برد. مخزن‌های حاوی محلول برای فلزات آهنی و غیرآهنی باید جدا از هم باشند.

مراحل آماده‌سازی فلزات مختلف، متفاوت می‌باشد و روش انجام آنها و محلولی که در آن باید چربی‌زدایی یا اکسید زدایی انجام گیرد برای فلزات مختلف متفاوت است. مراحل آماده‌سازی سطح فولاد، مس و آلومینیوم در زیر به صورت فعالیت عملی آورده شده است.

### آماده‌سازی سطح فولاد زنگ زده برای پوشش‌دهی

**مواد و تجهیزات مورد نیاز:** هیتر آزمایشگاهی مگنت دار، مگنت، دماسنج، پیپت، پنس چوبی، دستکش، ماسک، خشک‌کن، زمان سنج، ترازوی آزمایشگاهی، ورق فولادی، اره، سنباده به شماره ۱۰۰ تا ۸۰۰، بشر ۲۵۰ CC به تعداد ۶ عدد، سودسوزآور ۱۰٪، کلریدریک اسید (HCl) ۳۰٪.

### مراحل انجام آزمایش

**۱** ورق فولاد ساده کربنی را در ابعاد ۵×۱۰ سانتی‌متر به ضخامت ۲ میلی‌متر آماده کرده و توسط سنباده‌ها از شماره ۱۰۰ تا ۱۲۰۰ سنباده کاری کنید تا سطح صاف و تمیزی از فولاد به دست آید.

**۲** تهیه محلول چربی‌زدایی (سود ۱۰٪): برای تهیه حمام چربی‌زدایی فولاد که باید سود سوزآور ۱۰٪ باشد، مقدار ۲۰ گرم سود سوزآور را در مقداری آب مقطر داخل بشر بریزید و خوب به هم بزنید بعد از هم زدن آب مقطر را تا اندازه‌ای اضافه کنید که محلول داخل بشر به اندازه ۲۰۰ CC برسد.

● برای حل کردن تمامی محلول‌ها که در آنها آب مقطر وجود دارد ابتدا محلول را در مقدار کمی آب مقطر به هم بزنید و سپس با اضافه کردن مقدار آب مقطر لازم آن را به حجم مورد نظر برسانید.

**۳** سپس گرم‌کن آزمایشگاهی (هیتر) را روشن کرده و بر روی دمای ۶۰ درجه سلسیوس تنظیم کنید و بشر را روی آن بگذارید. سپس مگنت را داخل بشر بیندازید و دستگاه را در دور کند آن تنظیم کنید تا محلول را به هم بزند و سود سوزآور به صورت کامل در آب مقطر حل شود.

**۴** نمونه را توسط پنس چوبی داخل محلول چربی‌زدایی تهیه شده به مدت ۵ دقیقه در همان دمای ۶۰ درجه سلسیوس قرار دهید.

### نکته:

- ابتدا توسط دماسنج دمای محلول را کنترل کنید تا دمای ۶۰ درجه سلسیوس باشد.
- هنگام انجام فرایند نیز دما و زمان توسط دماسنج و زمان سنج کنترل شود.
- در انجام این مرحله می‌توانید مگنت داخل بشر را بیرون بیاورید. این کار را می‌توانید توسط یک قطعه کوچک فولادی انجام دهید که مگنت به آن می‌چسبد و به راحتی بیرون می‌آید.
- ۵** بعد از چربی‌زدایی نمونه را دو مرحله آبکشی کنید (داخل آب راکد).
- نکته: منظور از دو مرحله آبکشی یعنی تعداد ۲ عدد بشر ۲۵۰ CC را با آب مقطر پر کرده و ابتدا در یکی

از بشرها به مدت ۵ ثانیه نمونه را وارد کنید و تکان دهید تا آبکشی شود و سپس همان کار را در بشر دومی در همان شرایط انجام دهید.

۶ تهیه محلول اکسیدزدایی: برای تهیه محلول اکسیدزدایی مقدار ۱۴۰ cc آب مقطر را داخل بشر ۲۵۰ cc بریزید و سپس مقدار ۶۰ cc کلریدریک اسید را توسط پیپت به آن اضافه کنید.

**نکته:**

- دمای انجام فرایند اکسیدزدایی دمای محیط بوده و نیازی به گرم کن آزمایشگاهی نیست.
- بر روی بشر نوشته شود محلول اکسیدزدایی است تا با دیگر محلولها اشتباه گرفته نشود.
- هرگز آب را به اسید اضافه نکنید.

۷ بعد از آبکشی نمونه را در محلول ۳۰% کلریدریک اسید (HCl) که در مراحل اولیه تهیه شده به مدت ۵ دقیقه فرو ببرید تا اکسیدزدایی انجام گیرد.

● **نکته:** در صورتی که قطعه تحت عملیات سنباده زنی قرار نگیرد باید به مدت ۱۵ دقیقه در محلول اسید قرار داده شود.

۸ بعد از اکسیدزدایی دو مرحله آبکشی انجام دهید و بلافاصله با خشک کن خشک کنید.

● **نکته:** برای آبکشی در این مرحله از بشرهای آبکشی مرحله چربی زدایی استفاده نکنید و حتماً از بشرهای جداگانه استفاده شود.

● **نکته:** می توانید نمونه های آماده شده را در یک محیط مناسب نگهداری کنید تا برای فعالیت های بعدی که پوشش دهی است از آنها استفاده کنید. نمونه ها حتماً باید تمیز نگهداری شود. در غیر این صورت باید این مراحل در هنگام پوشش دهی از مرحله اول دوباره بر روی نمونه انجام گیرد.

● **نکته:** به جای خشک کن می توانید از سشوار نیز استفاده کنید.

**نکات ایمنی:**

- از بوییدن، چشیدن یا لمس کردن مواد شیمیایی جداً خودداری کنید.
- تمام مراحل آزمایش در زیر هود انجام شود.
- در نگهداری مواد شیمیایی دقت کنید و در جای مخصوص خود قرار دهید. به هیچ عنوان نباید مواد شیمیایی را در بالای کابینت، بالای سکوها یا کف زمین حتی به طور موقت نگهداری کرد.
- محلول های سود سوزآور دارای اثر خورندگی بر روی بافت بدن هستند، با دقت با آنها کار کنید.
- قبل از ترک کار گاه لوازمی را که با آنها کار کرده اید به دقت بشویید و در جای خود، به طور مناسب قرار دهید.

● برای دفع مواد پسماند شیمیایی استفاده شده، حتماً آنها را ابتدا خنثی کنید و توسط کاغذ pH سنج یا هر نوع شناساگر دیگر کنترل کنید تا خنثی شده باشند و سپس از سیستم فاضلاب آزمایشگاه آنها را بیرون بریزید.

● بهتر است محلول سودسوزآور تهیه شده را در ظرف مخصوص نگهداری کنید تا در صورت نیاز دوباره از آن استفاده شود چرا که در فعالیت های دیگر این پودمان نیز کاربرد دارد. همچنین با این کار اتلاف مواد کم شده و خطرات زیست محیطی آن کاهش می یابد.

● هیچ گاه مواد آلوده شده و سود ضایعاتی را مستقیماً وارد سیستم فاضلاب یا رودخانه ها نکنید. ابتدا آن را خنثی کنید یا با اضافه کردن مقدار زیاد آب به آن، غلظت را کاهش دهید و سپس بیرون بریزید.

نکته  
زیست محیطی







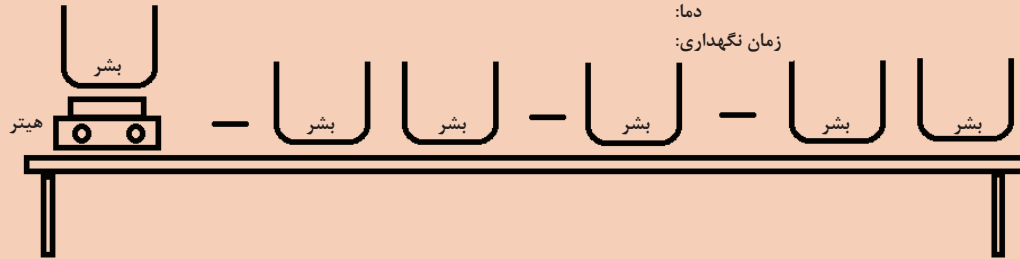
- ۱ چه تفاوت‌هایی بر روی سطح نمونه مورد آزمایش مشاهده می‌شود؟
- ۲ تمامی مراحل آماده‌سازی را در شکل زیر تکمیل کنید.

نام محلول:

مواد استفاده‌شده:

دما:

زمان نگهداری:



نام محلول:

مواد استفاده‌شده:

دما:

زمان نگهداری:



تحقیق کنید این مراحل برای قطعات بزرگ در کارخانه‌ها چگونه انجام می‌گیرد؟ نتایج فعالیت را به همراه جواب پرسش‌ها در یک گزارش کار تحویل هنرآموز خود دهید.



### آماده‌سازی سطح نمونه مسی برای پوشش‌دهی

**مواد و تجهیزات مورد نیاز:** پیپت، پنس چوبی، دستکش، ماسک، خشک‌کن، زمان‌سنج، ورق مسی، اره، سنباده به شماره ۱۰۰ تا ۱۲۰۰، بشر ۲۵۰cc به تعداد ۳ عدد، نیتریک اسید ( $HNO_3$ )، کلریدریک اسید (HCl).

#### مراحل انجام آزمایش:

- ۱ ورق مسی را در ابعاد  $۱۰ \times ۵$  سانتی‌متر به ضخامت ۲ میلی‌متر برش دهید.
- ۲ نمونه را تا شماره ۱۲۰۰ سنباده‌زنی کنید.
- نکته:** اگر سطح نمونه‌ها صاف باشد نیاز به سنباده‌زنی نیست.
- ۳ مقدار ۲۰۰cc اسید نیتریک را در یک بشر ۲۵۰cc بریزید و به آن ۲cc کلریدریک اسید توسط پیپت اضافه کنید.
- ۴ نمونه مسی را توسط پنس چوبی گرفته و داخل محلول آماده‌سازی به مدت ۱ دقیقه نگهداری کنید.
- ۵ دو مرحله آبکشی کنید و سپس با خشک‌کن خشک کنید.

#### نکته:

- حتماً بر روی بشر نام محلول‌ها نوشته شود.
- برای نمونه‌های مسی و برنجی هم چربی‌زدایی و هم اکسیدزدایی بعد از پرداخت کاری اولیه در این محلول انجام گیرد.

#### نکات ایمنی:

- برای نمونه‌های فولادی که قلع اندود می‌شوند ابتدا باید یک لایه پوشش مسی داده شود و سپس قلع داده شود تا کیفیت لایه پوششی بالا باشد.
- در هنگام آزمایش استفاده از عینک، ماسک تنفسی، دستکش و روپوش آزمایشگاهی الزامی است.
- آزمایش زیر هود انجام شود.
- محلول خنثی شده را می‌توان در سیستم فاضلاب آزمایشگاه تخلیه کرد.

● **نکته زیست:** هرگز ظروف حاوی مواد و محلول‌ها را بدون درپوش مناسب، نگهداری نکنید تا ضمن جلوگیری از آلودگی هوای آزمایشگاه، از آلودگی نمونه‌ها با مواد خارجی جلوگیری شود. مراحل انجام آزمایش را در گزارش کار با رسم شکل شرح دهید.

فعالیت  
کارگاهی ۶



### آماده‌سازی سطح آلومینیوم برای پوشش دهی

**هدف از انجام آزمایش:** افزایش کیفیت و چسبندگی لایه پوشش بر روی سطح آلومینیوم مواد و وسایل مورد نیاز: گرم‌کن آزمایشگاهی مگنت‌دار، مگنت هم‌زن، دماسنج، پیپت، پنس چوبی، دستکش، ماسک، خشک‌کن، زمان‌سنج، ترازوی آزمایشگاهی، ورق آلومینیومی، اره، سنباده به شماره ۱۰۰ تا ۱۲۰۰، بشر ۲۵۰ cc به تعداد ۶ عدد، سودسوزآور ۱۰٪، نیتریک اسید (HNO<sub>3</sub>) ۵۰٪.

### مراحل انجام آزمایش

- ۱ هرگروه نمونه‌ای از آلومینیوم را در ابعاد ۵ × ۱۰ سانتی‌متر به ضخامت ۲ میلی‌متر برش دهد.
- ۲ در صورت صاف نبودن سطح، سنباده‌زنی انجام گیرد.
- ۳ مقدار ۲۰۰ cc سود ۱۰٪ تهیه کنید و بر روی گرم‌کن آزمایشگاهی مگنت‌دار دمای آن را به ۷۰ درجه سلسیوس برسانید و دستگاه را در دور کند تنظیم کنید تا خوب حل شود.
- ۴ مقدار ۱۰۰ cc آب مقطر را در داخل بشر ۲۵۰ cc بریزید و ۱۰۰ cc نیتریک اسید را اندک اندک به آن اضافه کنید.
- ۵ نمونه آلومینیومی مورد آزمایش را توسط پنس چوبی به مدت ۳۰ ثانیه در سود ۱۰٪ با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار دهید.

### نکته:

- ابتدا توسط دماسنج دمای محلول کنترل شود تا دما ۷۰ درجه سلسیوس باشد.
- حین آزمایش دما و زمان کنترل شود.
- ۶ دو مرحله آبکشی انجام شود.
- ۷ نمونه را بعد از آبکشی به مدت ۱ دقیقه در محلول نیتریک اسید ۵۰٪ در دمای محیط قرار دهید.
- ۸ دو مرحله آبکشی انجام دهید.
- ۹ بلافاصله نمونه را توسط خشک‌کن خشک کنید.

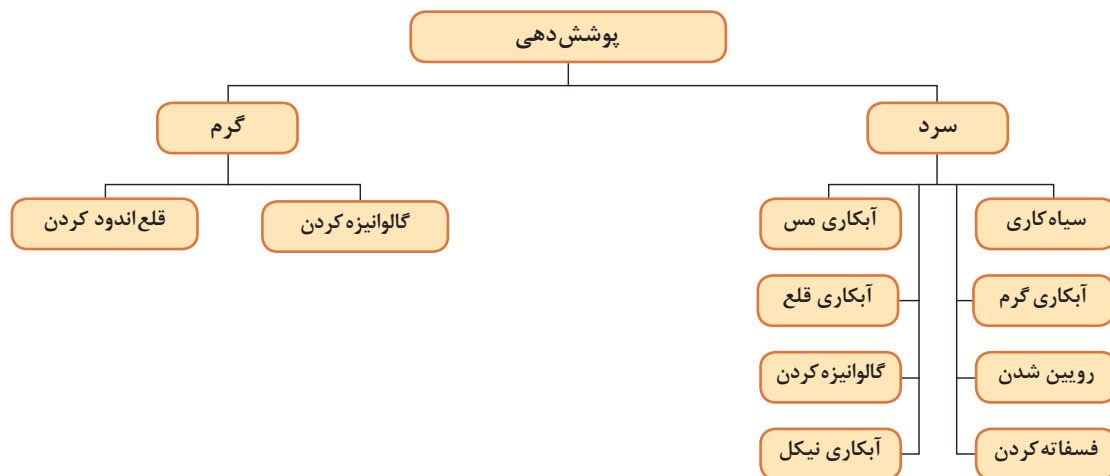
گفت‌وگو  
کنید



- ۱ چه تغییراتی بر روی سطح نمونه ایجاد شد؟
- ۲ مهم‌ترین پوششی که بر روی فلز آلومینیوم انجام می‌شود کدام است؟
- ۲ پس از بحث و گفتگو پاسخ تحلیلی خود را به همراه گزارش کار به هنرآموز خود تحویل دهید.

## عملیات پوشش دهی

پوشش دهی فلزات به دو صورت سرد و گرم می‌تواند انجام شود. در نمودار ۱ انواع مختلفی از روش‌های پوشش دهی هم برای پوشش دهی سرد و هم برای پوشش دهی گرم آورده شده است.



نمودار ۱- انواع پوشش دهی

می‌شود که در هنگام رنگ کردن، ماده رنگی در داخل این حفرات و شیارها گیر می‌کنند و چسبندگی بهتر صورت می‌گیرد.

پوشش دهی فسفاته، عملیاتی بر روی چدن، فولاد، فولاد گالوانیزه شده یا آلومینیوم، در محلول رقیق فسفریک اسید و دیگر ترکیبات است که در آن سطح فلز در محیط فسفریک اسید به طور شیمیایی فعال شده است و به لایه‌ای محکم و تقریباً محافظ از کریستال‌های غیرقابل حل فسفات تبدیل می‌شود. فرایند فسفاته کردن از حساسیت بالایی برخوردار است و عوامل مختلفی از قبیل شرایط آماده‌سازی سطح فلز، ترکیبات شیمیایی حمام، pH، دما، زمان فسفاته‌کاری، اندازه دانه‌ها و بسیاری دیگر از پارامترهای شیمیایی و متالورژیکی، بر روی خواص پوشش حاصله اثر می‌گذارند.

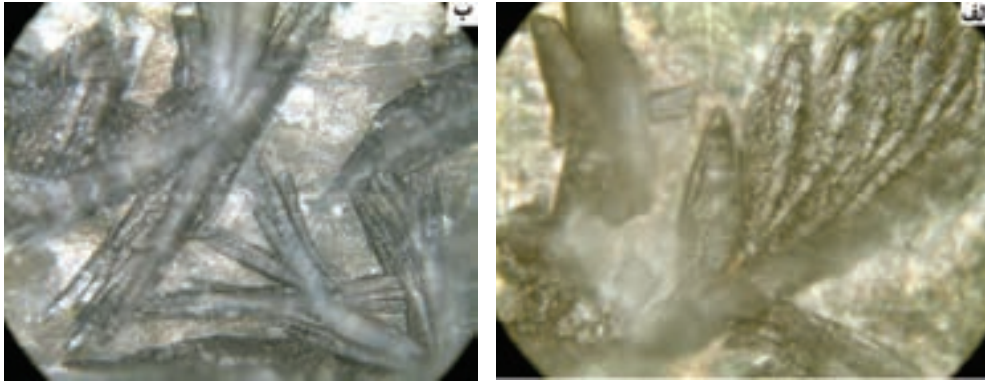
این پوشش به رنگ خاکستری تیره بوده و در زیر میکروسکوپ به صورت شکل (۱۸) دیده می‌شود.

### فسفاته کردن

هرساله صدها هزار دستگاه خودرو در کارخانجات مختلف خودروسازی تولید می‌شوند. بدنه کلیه خودروها تحت عملیات رنگ کاری قرار می‌گیرند و از آن جایی که بدنه اتومبیل تحت سخت‌ترین شرایط جوی و محیطی قرار دارد دستیابی به پوشش رنگ نهایی که بالاترین مقاومت در برابر خوردگی و تنش‌های مکانیکی را داشته باشد، مطلوب است.

جهت رسیدن به این هدف همواره سعی شده است که عملیات زیرسازی رنگ با بهترین مواد شیمیایی و در شرایط بهینه انجام شود.

فرایند فسفاته کردن بیشتر برای زیرکاری و قبل از انجام فرایند رنگ کاری برای اینکه رنگ بهتر روی سطح بنشیند و عمر طولانی‌تری داشته باشد استفاده می‌شود. در صورت انجام این عملیات بر روی سطح فولاد حفره‌ها و شیارهای ریزی ایجاد



شکل ۱۸- الف) فولاد S237 بعد از یک بار عملیات فسفات‌دهی در بزرگ‌نمایی ۵۰۰ و ب) همان نمونه بعد از دوبار عملیات فسفات‌دهی در بزرگ‌نمایی ۵۰۰.

بیشترین کاربرد پوشش‌های فسفات‌دهی به عنوان پوشش زیر رنگ است. علاوه بر آن از پوشش فسفات‌دهی در کاربردهای زیر نیز استفاده می‌شود:

- ۱ به عنوان پایه‌ای برای روغن یا ضد زنگ
- ۲ روانکاری و مقاومت در برابر سایش، کنده شدن، سایش سطحی قطعات متحرک در تماس با یکدیگر
- ۳ ایجاد سطوح دارای قابلیت شکل‌پذیری سرد مطلوب
- ۴ ایجاد مقاومت موقت یا کوتاه مدت در برابر خوردگی
- ۵ پایه چسبندگی ورق‌های پلاستیکی - فلزی یا لاستیکی به فلز

سه پوشش عمده فسفات‌دهی در صنعت عبارت‌اند از:

- ۱- **روی فسفات:** این نوع پوشش فسفات‌دهی جهت افزایش مقاومت سایشی، به عنوان ضد زنگ پایه رنگ و روغن، کمک به شکل‌دهی سرد و کشش سیم و تیوب به کار می‌رود.
- ۲- **آهن فسفات:** به عنوان پایه رنگ به کار می‌رود. به دلیل چسبندگی خوب این پوشش، رنگ در مقابل پوسته‌ای شدن ضربه‌ای به خوبی مقاومت می‌کند. مقاومت خوردگی آهن فسفات از روی فسفات کمتر است.
- ۳- **منگنز فسفات:** بر روی قطعات آهنی برای جلوگیری از کنده شدن سطحی و قفل شدن قطعات با یکدیگر در هنگام کار اعمال می‌شود.

### فسفات‌دهی فولاد

**مواد و تجهیزات مورد نیاز:** گرم‌کن آزمایشگاهی مگنت‌دار، مگنت هم‌زن، دماسنج، پیت، پمپ مکنده یا پیت پرکن، اسپاتول، پنس چوبی، دستکش، ماسک، خشک‌کن، زمان‌سنج، ترازوی آزمایشگاهی با دقت ۰/۱ گرم، میکروسکوپ نوری، ورق فولادی، اره، سنباده به شماره ۱۰۰ تا ۱۲۰۰، بشر ۲۵۰ cc به تعداد ۹ عدد، حمام چربی‌زدایی (سودسوزآور ۱۰٪)، حمام اکسیدزدایی (کلریدریک اسید ۳۰٪)، حمام فسفات‌دهی.

فعالیت  
کارگاهی ۷



- ۱ ابتدا ورق فولادی را در ابعاد  $50 \times 100$  میلی‌متر به ضخامت ۲ میلی‌متر آماده کرده و توسط سنباده‌ها از شماره ۱۰۰ تا ۱۲۰۰ سنباده‌کاری کنید تا سطح صاف و تمیزی از فولاد به دست آید.
  - ۲ چربی‌زدایی را طبق اصول چربی‌زدایی توسط سودسوزآور ۱۰٪ انجام دهید.
  - ۳ بعد از چربی‌زدایی نمونه را در دو مرحله آبکشی کنید.
  - ۴ با استفاده از کلریدریک اسید ۳۰٪ و رعایت اصول کلی اکسیدزدایی فولاد، نمونه را اکسیدزدایی کنید.
  - ۵ دو مرحله آبکشی انجام دهید.
  - ۶ برای تهیه حمام فسفات‌زدایی مواد شیمیایی زیر مورد نیاز است:
    - فسفریک اسید ۱۱ cc/lit
    - سدیم نیترات ۱ g/lit
    - روی اکسید ۵/۶ g/lit
    - نیتریک اسید ۲/۵ cc/lit
- مقدار ۲/۲ سی‌سی فسفریک اسید را توسط پیپت به داخل یک بشر ۲۵۰ cc بریزید سپس مقدار ۰/۲ گرم سدیم نیترات را وزن کرده و به آن اضافه کنید و به هم بزنید. مقدار ۱/۱۲ گرم روی اکسید را وزن کرده و به آن اضافه کنید و دوباره به هم بزنید. همچنین ۰/۵ سی‌سی نیتریک اسید توسط پیپت به آن اضافه کنید. دمای این حمام باید ۸۰-۷۰ درجه سلسیوس باشد. خشک‌کن را در این دما تنظیم کرده و بشر حمام فسفات‌زدایی را بر روی آن قرار دهید و توسط دماسنج، دمای آن را کنترل کنید. بعد از رسیدن به دمای مورد نظر ورق فولادی آماده شده را در داخل آن توسط پنس چوبی به مدت زمان ۱۰ دقیقه قرار دهید.
- ۷ دو مرحله آبکشی شود.
  - ۸ توسط پنس چوبی نمونه را بردارید و بلافاصله با استفاده از خشک‌کن خشک کنید.

نکته



- به هیچ عنوان آب را به اسید اضافه نکنید چرا که امکان پاشش اسید در این صورت وجود دارد و به جای آن اسید را به آب اضافه کنید.
- ترکیب اصلی محلول‌ها برای یک لیتر است که در این آزمایش ۲۵۰ cc محلول مورد نیاز است. مقادیر استفاده شده از هر ماده به مقدار ترکیب اصلی آن نسبت به حجم مورد نظر انتخاب می‌شود.
- در تمامی مراحل می‌توانید از آب معمولی نیز به جای آب مقطر استفاده کنید ولی جهت بالا بردن کیفیت پوشش انجام گرفته بهتر است از آب مقطر استفاده شود. اگر از آب معمولی استفاده شود لکه‌های سفید رنگی بر روی پوشش می‌تواند رسوب کند.
- فرایند فسفات‌زدایی تا ارتفاعی از نمونه که در داخل حمام قرار دارد انجام می‌گیرد و در صورت نیاز به اینکه تمام قطعه داخل حمام قرار گیرد، باید در بالای آن سوراخ کوچکی با مت ۳ میلی‌متری ایجاد کرد و توسط سیم تمامی آن را در داخل حمام وارد کرد. برای مشاهده تفاوت ایجاد شده بهتر است مقداری از آن داخل حمام باشد تا تفاوت ایجاد شده قبل از انجام کار و بعد از آن مشخص باشد.

نکته ایمنی



- از استشمام، چشیدن یا لمس کردن مواد شیمیایی جداً خودداری کنید.
- اگر مواد شیمیایی در جایی ریخته شود، آن را با مقدار زیادی آب بشویید.
- سولفوریک اسید فعالیت شیمیایی زیادی دارد، باید با دقت زیاد از آن استفاده کرد و آن را کم کم و به آهستگی در آب ریخت و به هم زد.
- اسید غلیظ، پوست را می سوزاند و از این لحاظ باید با احتیاط زیاد با آن کار کرد.

نکته زیست محیطی



- توجه داشته باشید که فسفریک اسید آلوده کننده محیط زیست است. در اندازه مناسب استفاده شود و قبل از دفع، حتماً خنثی گردد و سپس از طریق سیستم فاضلاب، دفع شود.
- می توان فسفریک اسید را ابتدا با مواد بازی مانند سودسوزآور خنثی کنید، سپس با موادی مانند شن، ماسه یا خاک آن را جمع آوری کنید و آن را در ظرف مخصوص زباله های شیمیایی بریزید.
- از مواد آتش گیر مانند خاک اره برای جمع آوری اسید هرگز استفاده نکنید.
- برای دفع زباله های آلوده به اسید، می توان آن را در خاک دفن کرد تا فسفات به عنوان کود در زمین جذب شود.

پرسش



- ۱ بعد از انجام فرایند فسفات کردن چه تفاوتی بر روی سطح نمونه مشاهده می کنید؟ نتایج به دست آمده را مورد بررسی قرار دهید.
  - ۲ این فرایند تا چه اندازه ای عمر لایه رنگ کاری را افزایش می دهد؟
  - ۳ توسط میکروسکوپ نوری در بزرگنمایی های مختلف سطح نمونه را مشاهده کرده و در یک دایره رسم کنید و تفاوت ایجاد شده را قبل و بعد از فسفات کردن بنویسید.
  - ۴ چند نوع فرایند فسفات کردن وجود دارد؟ تفاوت آنها در چیست؟
- پاسخ پرسش ها را به همراه نتایج فعالیت در گزارش کار به هنرآموز تحویل دهید.

## سیاه کاری

سیاه کاری به فرایند ایجاد یک لایه اکسیدی از آهن به کمک مواد اکسیدکننده، بر سطح قطعات فولاد کربنی است که ظاهر سیاه رنگ سطح حاصل، باعث نام گذاری آن به فرایند سیاه کاری شده است. هدف از ایجاد این لایه بر سطح قطعات، به دلیل مقاومت بالای پوشش به خوردگی اتمسفری خصوصاً در محیط های مرطوب است و بیشتر در مقاصد انبارداری قطعات و ورق های فولادی، کاربرد دارد. هرچند در ابتدا، مهم ترین جنبه استفاده از این پوشش ها در صنایع نظامی و جهت پوشش بدنه اسلحه ها، بوده است. در شکل (۱۹) نمونه هایی از قطعات صنعتی که تحت عملیات سیاه کاری قرار گرفته اند را مشاهده کنید.



شکل ۱۹- تصاویری از قطعات سیاه کاری شده

روش‌های مختلفی به منظور ایجاد این لایه بر سطح قطعات فولادی وجود دارند که هم به صورت گرم و هم به صورت سرد انجام می‌گیرد ولی در حالت کلی روش معمول، استفاده از فرایند غوطه‌وری در حمام قلیایی گرم، شامل ترکیبات سدیم نیترات، سدیم نیتريت، سودسوزآور و مواد افزودنی دیگر است. در شکل (۲۰) قسمتی از خط عملیات سیاه کاری را مشاهده می‌کنید.



شکل ۲۰- عملیات سیاه کاری

### مزایای سیاه کاری

- **مقاومت خوردگی:** افزایش عمر کاری و مدت زمان انبارداری قطعات
- **مقاومت به سایش مداوم:** پوشش‌های تبدیلی سخت در برابر پوسته شدن، ترک خوردن، سایش و خراش مقاومت خوبی دارند.
- **ضد چسبندگی:** در مواردی که نیاز به تماس قطعات است، پوشش سیاه و لایه روانکار مانع چسبندگی سطوح شده و هنگام تماس قطعات در اثر سایش فدا شده و سطح قطعه را سالم نگه می‌دارند.
- **روانکاری:** عملیات نهایی پایه روغن که بعد از فرایند سیاه کاری مرسوم می‌باشد، علاوه بر حفاظت سطح در برابر خوردگی، حرکت سطوح در تماس با یکدیگر را راحت تر می‌سازند.
- **زیبایی ظاهری پوشش:** این فرایند سبب ایجاد رنگ سیاه زیبا و تزیینی بر روی سطح قطعه شده و کیفیت سطحی آن را افزایش می‌دهد.
- **کاهش براقیت قطعه:** این فرایند براقیت قطعه را کاهش می‌دهد.
- **آماده‌سازی سطحی:** جهت بهبود چسبندگی رنگ و لاک‌های نهایی می‌توان از این پوشش به عنوان زیرلایه استفاده کرد.
- **رسانایی:** سیاه کاری، پوششی مناسب برای قطعات الکتریکی است، زیرا فقط در حدود ۱٪ رسانایی قطعه بعد از اعمال این پوشش کاهش می‌یابد.



## سیاه کاری فولاد

**مواد و تجهیزات مورد نیاز:** خشک کن آزمایشگاهی مگنت دار، مگنت همزن، دماسنج، پیپت، پمپ مکنده یا پیپت پر کن، اسپاتول، پنس چوبی، دستکش، ماسک، خشک کن، زمان سنج، ترازوی آزمایشگاهی، میکروسکوپ نوری، ورق فولادی، اره، سنباده به شماره ۱۰۰ تا ۱۲۰۰، بشر ۲۵۰ CC به تعداد ۹ عدد، حمام چربی زدایی (سودسوزآور ۱۰٪)، حمام اکسیدزدایی (کلریدریک اسید ۳۰٪)، حمام سیاه کاری

۱ ابتدا ورق فولادی را در ابعاد ۵ × ۱۰ سانتی متر به ضخامت ۲ میلی متر آماده کرده و توسط سنباده‌های ۱۰۰ تا ۱۲۰۰ سنباده کاری کنید تا سطح صاف و تمیزی از فولاد به دست آید.

۲ چربی زدایی را طبق اصول چربی زدایی توسط سودسوزآور ۱۰٪ انجام دهید.

۳ بعد از چربی زدایی نمونه را در دو مرحله آبکشی کنید.

۴ با استفاده از کلریدریک اسید ۳۰٪ و رعایت اصول کلی اکسیدزدایی فولاد، نمونه را اکسیدزدایی کنید.

۵ دو مرحله آبکشی انجام دهید.

۶ برای تهیه حمام سیاه کاری مواد شیمیایی زیر مورد نیاز است:

- سود سوزآور ۶۰۰ g/lit

- سدیم نیترات ۳۰ g/lit

- سدیم نیتريت ۲۰ g/lit

مقدار ۱۲۰ گرم سودسوزآور را داخل ۵۰ CC آب مقطر در یک بشر ۲۵۰ CC حل کنید سپس ۶ گرم سدیم نیترات را وزن کرده و به آن اضافه کنید و به هم بزنید. همچنین مقدار ۴ گرم سدیم نیتريت را به آن اضافه کنید و دوباره به هم بزنید. گرم کن آزمایشگاهی مگنت دار را در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس تنظیم کنید و بشر حاوی محلول را بر روی آن بگذارید و دماسنج را داخل بشر قرار دهید و دمای آن را کنترل کنید تا به دمای مورد نظر برسد. مگنت همزن را داخل بشر بیندازید و گرم کن آزمایشگاهی را در دور کند تنظیم کنید تا محلول را هم بزند.

۷ بعد از اینکه محلول به دمای مورد نظر رسید، ورق فولادی را به مدت ۲۰ دقیقه داخل محلول قرار دهید.

۸ ورق فولادی را توسط پنس چوبی بیرون آورده و در دو مرحله آبکشی کنید.

۹ بلافاصله بعد از آبکشی نمونه را با استفاده از خشک کن خشک کنید.

● به هیچ عنوان آب را به اسید اضافه نکنید چرا که امکان پاشش اسید در این صورت وجود دارد و به جای آن اسید را به آب اضافه کنید.





نکته ایمنی



- عوارض حاد ناشی از تماس کوتاه با غلظت‌های زیاد سودسوزآور شامل تحریک و التهاب و سوختگی پوست، چشم، بینی، نای و حنجره است. در صورت مشاهده هرچه سریع‌تر فرد را به پزشک ارجاع دهید.
- استنشاق میزان زیاد سودسوزآور باعث تورم حنجره و بیماری‌های ریوی غیرقابل برگشت می‌شود.
- علایم اولیه بلعیدن سودسوزآور شامل درد شکم و استفراغ است. در صورت ایجاد این حالت‌ها هرچه سریع‌تر فرد را به پزشک ارجاع دهید.

نکته زیست محیطی



مواد آلوده شده و سود ضایعاتی را مستقیماً وارد سیستم فاضلاب شهری یا رودخانه‌ها نکنید.

پرسش



- ۱ بعد از انجام فرایند سیاه‌کاری چه تفاوتی بر روی سطح نمونه مشاهده می‌کنید؟ نتایج به دست آمده را مورد بررسی قرار دهید.
- ۲ مراحل کامل آزمایش سیاه‌کاری را در شکل زیر تکمیل کنید.
- ۳ تحقیق کنید فرایند سیاه‌کاری بیشتر بر روی چه نوع قطعاتی انجام می‌گیرد؟

بحث گروهی



پس از بحث و گفتگو پاسخ تحلیل خود را به همراه گزارش کار تحویل هنرآموز خود دهید.

### مس اندود کردن فولاد

به علت اینکه بعضی از فلزات بر روی فولادها چسبندگی بالایی ندارند و هنگام پوشش‌دهی کیفیت و عمر لایه پوششی در برخی از فلزات پایین است، ابتدا یک لایه واسطه از فلزی را که چسبندگی خوبی هم با فولاد و هم با فلز پوششی مورد نظر دارد، بر روی فولاد پوشش می‌دهند تا چسبندگی عالی داشته باشد. در پوشش‌دهی قلع نیز ابتدا فولاد را مس اندود می‌کنند تا پوشش قلع کیفیت بالایی داشته باشد. در این بخش نحوه مس اندود کردن فولاد و آماده‌سازی سطح آن برای پوشش‌دهی قلع گفته شده است و فرایند آبرکاری مس نیز به‌طور کامل در بخش‌های بعدی آورده شده است.

### مس اندود کردن فولاد

**مواد و تجهیزات مورد نیاز:** گرم‌کن آزمایشگاهی مگنت دار، مگنت هم‌زن، دماسنج، پیپت، پمپ مکنده یا پیپت پرکن، اسپاتول، پنس چوبی، دستکش، ماسک، خشک‌کن، زمان‌سنج، ترازوی آزمایشگاهی، ورق فولادی، اره، سنباده به شماره ۱۰۰ تا ۱۲۰۰، بشر CC ۲۵۰ به تعداد ۹ عدد، حمام چربی زدایی (سودسوزآور ۱۰٪)، حمام اکسیدزدایی (کلریدریک اسید ۳۰٪)، حمام مس اندود کردن (مس سولفات، سولفوریک اسید)

فعالیت کارگاهی ۹



- ۱ ابتدا ورق فولادی را در ابعاد  $50 \times 100$  میلی‌متر به ضخامت ۲ میلی‌متر آماده کرده و توسط سنباده‌های ۱۰۰ تا ۱۲۰۰ سنباده‌کاری کنید تا سطح صاف و تمیزی از فولاد به دست آید.
  - ۲ چربی‌زدایی را طبق اصول چربی‌زدایی توسط سودسوزآور ۱۰٪ انجام دهید.
  - ۳ بعد از چربی‌زدایی نمونه را در دو مرحله آبکشی کنید.
  - ۴ با استفاده از کلریدریک اسید ۳۰٪ و رعایت اصول کلی اکسیدزدایی فولاد، نمونه را اکسیدزدایی کنید.
  - ۵ دو مرحله آبکشی انجام دهید.
  - ۶ حمام مس اندود را تهیه کنید. برای تهیه حمام مواد زیر مورد نیاز است که طبق مراحل زیر اقدام کنید:
    - مس سولفات ۱۵ g/lit
    - سولفوریک اسید ۱۰ cc/lit
- محلول را در اندازه ۲۰۰ cc آماده کنید. برای انجام این کار ابتدا مقدار ۳ گرم مس سولفات را در ۱۰۰ cc آب مقطر خوب به هم بزنید. سپس ۲ cc سولفوریک اسید به آن اضافه کنید و خوب به هم بزنید. آب مقطر را تا اندازه‌ای به آن اضافه کنید که به حجم ۲۰۰ cc برسد.
- ۷ نمونه را به مدت ۱۰ ثانیه توسط پنس چوبی داخل حمام وارد کنید.
  - ۸ دو مرحله آبکشی کنید و بلافاصله با خشک‌کن خشک کنید.
- نمونه را برای انجام فعالیت‌های بعدی نگه دارید.

دمای انجام فرایند دمای محیط می‌باشد.

نکته



رعایت تمامی نکات ایمنی فعالیت‌های قبل الزامی است.

نکته ایمنی



سولفوریک اسید توسط آهک، سدیم کربنات، سودسوزآور و منیزیم هیدروکسید خنثی می‌شود. در صورتی که محلول را نگهداری نمی‌کنید، ابتدا محلول را خنثی کنید و سپس آن را دفع کنید.

نکته زیست محیطی



چه تغییراتی بر روی سطح نمونه مشاهده می‌کنید.

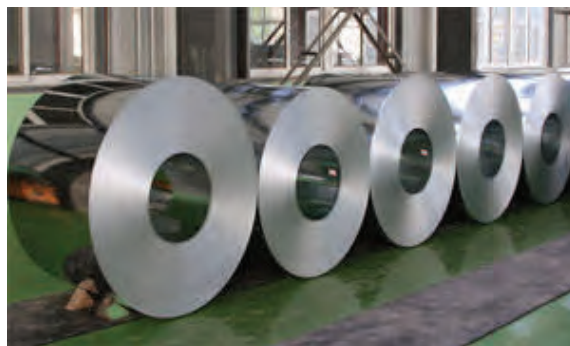
پرسش



## پوشش دهی قلع

اندود یا حلبی تولید می‌شود که اغلب در ساخت ظروف مواد غذایی به کار می‌روند. غیر سمی بودن ترکیبات قلع سبب استفاده از آنها در ظروف مواد غذایی شده است و اولین و گسترده‌ترین کاربرد ورق‌های قلع‌اندود تولید قوطی‌های کنسرو است. چون آهن فلزی فعال‌تر از قلع است و پتانسیل احیای قلع بیشتر از آهن است و به عنوان کاتد در حلبی به کار می‌رود و آهن آند می‌شود. به همین دلیل در صورتی که پوشش قلع بشکند، خوردگی آهن در زیر این پوشش پیش می‌رود در غیر این صورت قلع فلزی مقاوم در برابر خوردگی است. شکل (۲۱) ورق قلع‌اندود شده را نشان می‌دهد که قلع به عنوان زیرلایه بوده و بعد از آن پوشش کروم داده شده است تا قلع چسبندگی آن را افزایش دهد.

قلع‌اندود کردن فرایندی است که بر روی فولاد یا آهن کار شده لایه نازکی از قلع پوشیده می‌شود، محصول نهایی به دست آمده از این فرایند ورق قلع‌اندود است. این ورق اغلب برای جلوگیری از زنگ زدگی استفاده می‌شود. قلع از فلزاتی است که ذاتاً به راحتی اکسید می‌شود و از طریق ایجاد اکسید در مقابل اتمسفر مقاوم می‌شود و در محیط‌های بسیار خورنده مثل اسیدها و نمک‌ها، به خوبی پایداری می‌کند. به همین دلیل در موارد حساس که خوردگی قابل کنترل است از قطعات قلع یا پوشش‌های قلع استفاده می‌شود. پوشش‌های قلع را به روش‌های غوطه‌وری در مذاب، آبکاری، پاششی و جابه‌جایی شیمیایی تهیه می‌کنند. هر ساله میلیون‌ها تن ورقه‌های قلع



شکل ۲۱- ورق قلع‌اندود شده با پوشش کروم

ورق قلع‌اندود دارای کاربردهای زیادی است و غالباً در صنایع بسته‌بندی مواد غذایی، شیمیایی، دارویی، رنگ‌ها و با درصد اندکی نیز در ساخت سایر مصنوعات از قبیل فیلتر روغن، گازوئیل، هوا و آب برای کامیون، اتوبوس، تراکتور و ماشین‌آلات سنگین، اتومبیل‌های سواری، صنایع اسباب‌بازی و باتری‌سازی به کار می‌رود.

## پوشش دهی قلع بر روی فولاد بدون استفاده از جریان برق

به دلیل خطرات احتمالی این فعالیت تنها توسط هنرآموز در حضور هنرجویان انجام شود.

فعالیت  
کارگاهی ۱۰



نکته



## آبکاری نیکل

نیکل اولین فلزی است که در صنعت از طریق آبکاری به عنوان پوشش به کار گرفته شده است. نیکل فلزی است سفید رنگ که رنگ پوشش آن نقره‌ای روشن و متمایل به زرد است. برای اینکه از زرد یا کدر شدن نیکل در فضای آزاد جلوگیری شود از سال ۱۹۲۵ بر روی پوشش‌های نیکل لایه نازکی از کروم به صورت الکترولیتی پوشش داده می‌شود که این روش بعدها به پوشش‌های چند لایه نیکل منجر گشت.

آبکاری نیکل برای کاربردهای تزئینی، با افزودن مواد مناسب به محلول آبکاری پوشش هموار و براق رسوب می‌کند. با اعمال پوشش نهایی کروم، طلا یا نقره سطح قطعات بسیار جذاب و بادوام می‌شود. در آبکاری صنعتی نیکل، براقی ظاهری پوشش مورد نظر نیست. در این موارد پوشش‌های نیکل معمولاً فاقد گوگرد بوده و ظاهری کدر دارند. این پوشش‌ها برای بالا بردن مقاومت به خوردگی و مقاومت در برابر سایش، بازسازی قطعات ساییده شده، تغییر خواص مغناطیسی و آماده‌سازی برای لعاب‌کاری به کار می‌رود که این موارد عمدتاً در صنایع الکتریکی، رایانه، مخابرات و شیمی به کار می‌رود.

فعالیت  
کارگاهی ۱۱



### پوشش‌دهی نیکل بر روی فولاد

**مواد و تجهیزات مورد نیاز:** منبع جریان DC یا رکتی‌فایر (تراکم جریان ۳-۵/۰ آمپر بر دسی متر مربع)، ۲ عدد سیم رابط یکسر گیره، گرم‌کن آزمایشگاهی مگنت‌دار، مگنت هم‌زن، دماسنج، پیپت، پمپ مکنده یا پیپت پرکن، اسپاتول، پنس چوبی، دستکش، ماسک، خشک‌کن، زمان‌سنج، ترازوی آزمایشگاهی، ورق فولادی، اره، سنباده به شماره ۱۰۰ تا ۱۲۰۰، بشر ۲۵۰ cc به تعداد ۹ عدد، ورق نیکل یا در صورت نبودن ورق سرب (به عنوان آند)، حمام چربی زدایی (سودسوزآور ۱۰٪)، حمام اکسیدزدایی (کلریدریک اسید ۳۰٪)، حمام نیکل (نیکل سولفات، نیکل کلرید، بوریک اسید)

### مراحل انجام آزمایش

- ۱ ابتدا ورق فولادی را در ابعاد ۵۰ × ۱۰۰ میلی‌متر به ضخامت ۲ میلی‌متر آماده کرده و توسط سنباده‌های ۱۰۰ تا ۱۲۰۰ سنباده‌کاری کنید تا سطح صاف و تمیزی از فولاد به دست آید.
- ۲ چربی‌زدایی را طبق اصول چربی‌زدایی توسط سودسوزآور ۱۰٪ انجام دهید.
- ۳ بعد از چربی‌زدایی نمونه را در دو مرحله آبکشی کنید.
- ۴ با استفاده از کلریدریک اسید ۳۰٪ و رعایت اصول کلی اکسیدزدایی فولاد، نمونه را اکسیدزدایی کنید.
- ۵ دو مرحله آبکشی انجام دهید.
- ۶ حمام پوشش‌دهی نیکل را تهیه کنید. برای تهیه این حمام مواد زیر مورد نیاز بوده و طبق اصول آورده شده آن را انجام دهید.

■ نیکل سولفات ۳۱۰ g/lit

■ نیکل کلرید ۵۰ g/lit

■ بوریک اسید ۴۰ g/lit

حمام را در اندازه ۲۰۰ cc آماده می‌کنیم. ابتدا مقدار ۶۲ گرم مس سولفات را در ۱۰۰ cc آب مقطر حل کنید. سپس ۱۰ گرم نیکل کلرید به آن اضافه کنید و هم بزنید. مقدار ۸ گرم بوریک اسید نیز به آن اضافه کرده و

سپس بر روی هیتر بگذارید و در دمای ۴۰ الی ۷۰ درجه سلسیوس تنظیم کنید و همزن آن را روی دور کند بگذارید تا کاملاً حل شود.

۷ رکتی فایر (یکسوکننده) را روشن کنید و ولتاژ آن را در  $3 \text{ V/dm}^2$  تنظیم کنید. توجه داشته باشید که در این آزمایش ولتاژ مهم است و نیازی نیست جریان در مقدار مشخصی باشد. جریان خود نسبت به ولتاژ تنظیم خواهد شد.

۸ نمونه فولادی را توسط سیم به قطب منفی منبع تغذیه و نیکل یا سرب را به قطب مثبت آن وصل کنید و هردو را در داخل حمام نیکل قرار دهید.

۹ بعد از ۲۰ دقیقه نمونه را بردارید.

۱۰ دو مرحله آبکشی انجام دهید و بلافاصله با خشک کن آن را خشک کنید.

در این فعالیت فقط یک طرف نمونه فولادی تحت پوشش قرار می‌گیرد و اگر بخواهیم دو طرف آن نیز پوشش دهی شود باید نمونه فولادی در وسط دو تا آند قرار گیرد.

نکته



- رعایت تمامی نکات ایمنی حفاظتی فعالیت‌های قبل الزامی است.
- محل اتصال دستگاه به پریز برق را با دست مرطوب نگیرید.

نکته ایمنی



سولفوریک اسید توسط آهک، سدیم کربنات، سودسوزآور و منیزیم هیدروکسید خنثی می‌شود. در صورتی که محلول را نگهداری نمی‌کنید، ابتدا محلول را خنثی کرده و سپس آن را دفع کنید.

نکته

زیست محیطی



۱ چه تفاوتی دارد که از نیکل به عنوان آند استفاده کنیم یا از سرب؟ فعالیت را جداگانه انجام دهید و مشاهدات خود را بنویسید.

۲ آیا فاصله آند و کاتد بر روی کیفیت پوشش تأثیرگذار است؟ چطور می‌توان بهترین فاصله را برای آن پیدا کرد؟

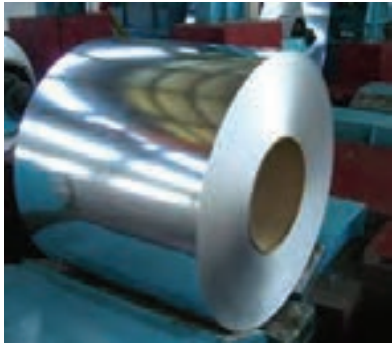
۳ مراحل انجام فعالیت پوشش دهی نیکل را به‌طور کامل بنویسید.

۴ نمونه‌های خود را بعد از اینکه پوشش دادید به‌صورت عرضی ببرید و مانع کنید و سپس آنها را خوب سنباده زده و زیر میکروسکوپ لایه پوشش داده شده را اندازه‌گیری کنید.

۵ در صنعت برای اینکه تمامی قسمت‌های قطعات پوشش دهی شود، آند باید به چه شکلی باشد و در کجا قرار گیرد؟

پرسش





شکل ۲۲- ورق آهن گالوانیزه

### گالوانیزه سرد

آهن گالوانیزه آهنی است که با فلز روی پوشانده شده است. این آهن، حتی اگر پوشش آن هم شکستگی پیدا کند، از زنگ زدن محفوظ می ماند. به این دلیل که بین آهن و روی، پیل الکتروشیمیایی تشکیل می شود که در آن روی به جای آهن به عنوان آند و آهن به عنوان کاتد به کار می رود. روی چون فلزی پست تر یا فعال تر از آهن است و دارای پتانسیل احیا کمتری از آهن است و پتانسیل اکسید بیشتری از آن دارد، در آند اکسید می شود. شکل (۲۲) ورق آهن گالوانیزه را نشان می دهد.

از کاربردهای آهن گالوانیزه در ساختن لوازمی مانند لوله بخاری، کانال کولر، کابینت آشپزخانه، شیروانی منازل، لوله های آب و هر جا که احتمال خوردگی آهن و خسارت وجود دارد، استفاده می شود. همچنین مواردی نظیر:

۱ دکل ها و خطوط انتقال نیرو

۲ پل ها، سوله ها و مخازن

۳ سازه های فلزی.

۴ پروژه های ساخت و تجهیز نیروگاهی، صنایع نفت، گاز و پتروشیمی.

۵ گلخانه ها

۶ شناورهای دریایی

۷ شاسی خودروهای سبک و سنگین

به غیر از محیط های دریایی که کادمیوم مناسب تر است، زمانی که لایه نازکی از روی بر فولاد رسوب داده شود نسبت به نیکل و سایر پوشش های کاتدی هم ضخامت، در برابر خوردگی محافظت بهتری ارائه می دهد. عنصر روی ارزان تر است اما دوام پوشش آن در مقایسه با نیکل و کروم کمتر است اما از نظر محافظت در برابر خوردگی در مقایسه با آنها کارایی بیشتری دارد.

### گالوانیزه سرد

**مواد و تجهیزات مورد نیاز:** منبع جریان DC یا رکتیفایر (تراکم جریان ۳-۵/۵ آمپر بر دسی متر مربع)، ۲ عدد سیم رابط یکسر گیره، گرم کن آزمایشگاهی مگنت دار، مگنت هم زن، دماسنج، پیپت، پمپ مکنده یا پیپت پر کن، پنس چوبی، دستکش، ماسک، خشک کن، زمان سنج، ترازوی آزمایشگاهی، اسپاتول، ورق فولادی، اره، سنباده به شماره ۱۰۰ تا ۱۲۰۰، بشر ۲۵۰CC چند عدد، سودسوزآور ۱۰% (چربی زدایی)، کلریدریک اسید ۳۰% (اکسیدزدایی)، روی سولفات، آمونیم کلرید یا سدیم کلرید، آلومینیوم کلرید، بوریک اسید.

۱ ورق فولادی در اندازه ۵ × ۱۰ سانتی متر به ضخامت ۲ میلی متر را بریده و سنباده زنی انجام دهید.

۲ طبق اصول آماده سازی نمونه های فولادی، نمونه را در سود سوزآور ۱۰% چربی زدایی کنید.

فعالیت  
کارگاهی ۱۲



۲ طبق اصول آماده‌سازی نمونه‌های فولادی، اکسید زدایی در کلریدریک اسید ۳۰٪ انجام دهید.

۴ محلول گالوانیزه سرد را تهیه کنید. مواد و مراحل تهیه محلول به صورت زیر است:

■ **روی سولفات:** ابتدا ۶۰ گرم روی سولفات را با استفاده از اسپاتول و ترازو بکشید و در مقدار کمی آب مقطر در داخل بشر هم بزنید.

■ **آمونیم کلرید یا سدیم کلرید:** مقدار ۳ گرم آمونیم کلرید و یا در صورت نبودن آن ۳ گرم سدیم کلرید (نمک طعام) به آن اضافه کنید و هم بزنید.

■ **آلومینیوم کلرید:** سپس ۶ گرم آلومینیوم کلرید به آن اضافه کنید.

■ **بوریک اسید:** ۳ گرم بوریک اسید نیز به آن اضافه کنید.

● **نکته:** تمامی مواد را توسط اسپاتول تمیز و با استفاده از دستکش بردارید.

● **نکته:** دمای مورد نیاز برای انجام فرایند گالوانیزه سرد دمای محیط است که باید توسط دماسنج کنترل شود.

● **نکته:** برای هم زدن محلول می‌توانید گرم‌کن را خاموش کرده و فقط همزن آن را در دور کند تنظیم کنید و بشر را بر روی آن بگذارید تا خوب حل شود.

● **نکته:** pH محلول حدود ۳/۸ تا ۴/۶ است که توسط دستگاه pH سنج کنترل می‌شود.

سپس به محلول آماده شده آب مقطر اضافه کنید تا به اندازه ۲۰۰ cc برسد.

۵ منبع جریان DC (رکتی فایر) را روشن کنید و آمپر آن را در ۱/۰۵ آمپر تنظیم کنید.

● **نکته:** برای پیدا کردن شدت جریان مورد استفاده در فرایند، باید مساحت پوشش را در تراکم جریان مورد استفاده ضرب کرد تا مقدار شدت جریان به دست آید. تراکم جریان بسته به میزان کیفیت سطح مورد نظر از ۰/۵ تا ۳ آمپر بر دسی متر مربع متغیر است که در این فعالیت انتخاب به صورت تجربی مقدار ۱/۵ آمپر بر دسی متر مربع می‌شود.

۶ نمونه را به قطب منفی منبع جریان DC (رکتی فایر) توسط کابل یک سر گیره وصل کنید و ورق سرب را به قطب مثبت.

۷ بعد از ۲۰ دقیقه نمونه را توسط پنس چوبی بردارید و بلافاصله توسط خشک کن خشک کنید.

● **نکته:** توجه داشته باشید که بعد از هر ۳ دقیقه، ضخامت ۱ میکرون بر روی سطح نمونه پوشش داده می‌شود و در صورت نیاز می‌توانید با تغییر دادن زمان آزمایش به ضخامت‌های مورد نیاز دست یابید. نمونه‌های خود را بعد از اینکه پوشش دادید به صورت عرضی ببرید و مانع کنید و سپس آنها را خوب سنباده زده و زیر میکروسکوپ لایه پوشش داده شده را اندازه‌گیری کنید و گزارش کار را تحویل هنرآموز خود دهید.

## آندایزینگ آلومینیوم

به مجموعه عملیاتی که منجر به تشکیل یک لایه نازک اکسیدی بر روی قطعات آلومینیومی شده و باعث افزایش سختی، مقاومت در برابر خوردگی، ایجاد نمای تزئینی و تغییر برخی از خصوصیات فیزیکی می‌گردد آندایزینگ اطلاق می‌شود. در این روش لایه متخلخل و سختی از آلومینیوم اکسید بر سطح فلز ایجاد می‌شود. مکانیزم کلی عمل به این صورت است که جریان مستقیم برق از مایع الکترولیت مناسبی می‌گذرد که در آن آلومینیوم آند بوده و فلز مناسب دیگری مثل سرب به عنوان کاتد است. در این صورت بر سطح آلومینیوم یک لایه نازک از اکسید ایجاد می‌شود که ضخامت آن به عوامل گوناگونی بستگی دارد.

آلومینیوم در شرایط معمولی نیز اکسید می‌شود به طوری که در مجاورت هوا به‌طور معمول لایه‌ای از اکسید به ضخامت یک سوم میکرون و به‌صورت غیرمتخلخل بر روی سطح قطعات آلومینیومی تشکیل می‌گردد که وظیفه حفاظت از سطح فلز را بر عهده دارد اما برتری و مزیت اکسید ایجاد شده در روش آندایزینگ نسبت به شرایط طبیعی مقاومت در برابر خوردگی است.

از مزایای آندایز کردن آلومینیوم می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- افزایش مقاومت فلز به خوردگی؛
- افزایش خاصیت عایق بودن نسبت به الکتریسیته؛
- بهبود چسبندگی رنگ بر سطح فلز؛
- افزایش مقاومت سایشی ماده؛
- افزایش روانکاری سطح فلز؛
- بهبود ظاهری و براق شدن سطح و در نتیجه امکان پذیر شدن انجام رنگ کاری‌های مختلف.

### مراحل آندایزینگ آلومینیوم

- پرداخت کاری مکانیکی؛
- اتصال قطعه به قلاب؛
- تمیزکاری قلیایی؛
- شست‌وشو با آب؛
- غوطه‌وری در نیتریک اسید ۵۰٪ حجمی؛
- شست‌وشو با آب؛

عملیات آندایزینگ در شرایط سولفوریک اسید با غلظت ۱۵٪ وزنی و دانسیته جریان ۱-۲/۵ آمپر بر دسی متر مربع و دمای ۱۸ تا ۲۵ درجه سلسیوس و فلز سرب به عنوان کاتد در زمان ۲۰-۴۰ دقیقه است.

### آندایزینگ آلومینیوم

**مواد و وسایل مورد نیاز:** منبع جریان DC یا رکتیفایر (تراکم جریان ۳-۵/۰ آمپر بر دسی متر مربع)، ۲ عدد سیم رابط یکسر، گیره، گرم‌کن آزمایشگاهی مگنت‌دار، مگنت هم‌زن، دماسنج، پیپت، پمپ مکنده یا پیپت پرکن، پنس چوبی، دستکش، ماسک، خشک‌کن، زمان‌سنج، ترازوی آزمایشگاهی، اسپاتول، ورق آلومینیومی، اره، سنباده به شماره ۱۰۰ تا ۱۲۰۰، بشر ۲۵۰CC به تعداد ۹ عدد، سودسوزآور ۱۰٪، نیتریک اسید ۵۰٪، حمام آندایزینگ (سولفوریک اسید)

### مراحل انجام آزمایش

**۱** ورق آلومینیومی در اندازه ۵ × ۱۰ سانتی متر به ضخامت ۲ میلی‌متر را بریده و سنباده‌زنی انجام دهید.

فعالیت  
کارگاهی ۱۳





طبق اصول آماده‌سازی نمونه‌های آلومینیومی، نمونه را در سود سوزآور ۱۰٪ و نیتریک اسید ۵۰٪ چربی‌زدایی و اکسیدزدایی کنید.

۲ حمام آندایزینگ که سولفوریک اسید ۹۰ cc/lit است را به صورت زیر تهیه کنید:

۳ حمام را به مقدار ۲۰۰ cc آماده می‌کنیم. ابتدا ۱۸ cc سولفوریک اسید را در ۱۰۰ cc آب مقطر بریزید و به هم بزنید. سپس به اندازه مورد نظر (۸۲ cc) آب مقطر به آن اضافه کنید تا به حجم ۲۰۰ cc برسد.

۴ منبع جریان DC (رکتیفایر) را روشن کرده و ولتاژ آن را در حدود  $15 \text{ V/dm}^2$  تنظیم کنید.

۵ ورق آلومینیومی را به قطب مثبت (آند) و سرب را به قطب منفی (کاتد) توسط سیم‌های رابط وصل کنید و در داخل حمام آندایزینگ قرار دهید.

۶ نمونه را به مدت ۲۰ دقیقه در داخل حمام و در دمای محیط قرار دهید.

● نکته: دمای حمام باید کنترل شود تا از ۲۵ درجه سلسیوس بیشتر نشود زیرا عملیات آندایزینگ متوقف می‌شود.

۷ دو مرحله آبکشی انجام دهید و بلافاصله نمونه را خشک کنید.

چه تغییراتی در سطح نمونه‌ها مشاهده می‌کنید؟

آلومینیوم رنگی موجود در بازار به چه روشی رنگ کاری می‌شود؟

پرسش



تحقیق کنید

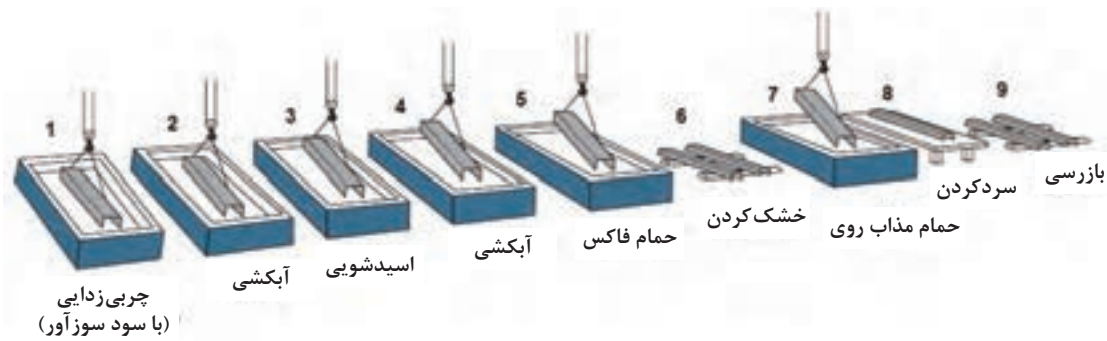


## گالوانیزه گرم

گالوانیزه گرم فرایندی است که در طی آن پوشش چسبنده و محافظی از فلز روی یا ترکیبات آن توسط فروبردن قطعات فولادی و چدنی در روی مذاب بر روی این قطعات تشکیل می‌شود. پوشش محافظ معمولاً از لایه‌های مختلفی تشکیل شده است. لایه‌هایی از پوشش که به فلز پایه نزدیک‌ترند، در واقع آلیاژهایی از آهن و روی هستند که به نوبه خود توسط لایه خارجی که تقریباً از روی خالص تشکیل شده است پوشیده شده‌اند.

ساختمان پیچیده این لایه که تشکیل یک پوشش گالوانیزه را می‌دهند از نقطه نظر ترکیب شیمیایی تفاوت‌های زیادی باهم دارند و خواص فیزیکی و شیمیایی یکسانی ندارند. خواص مذکور در این لایه‌ها تحت تأثیر فعالیت شیمیایی، نفوذ و نحوه خنک شدن بعدی قرار دارد. همچنین تفاوت‌های جزئی در ترکیب شیمیایی حمام مذاب (پوشش)، دمای حمام، زمان غوطه‌وری در حمام، سرعت خنک شدن و حرارت‌دهی مجدد (در موارد خاص و به منظور مقاصد خاص انجام می‌شود) می‌تواند سبب تغییرات چشمگیری در ظاهر و خواص پوشش گردد.

پوشش‌های گالوانیزه گرم که قابل اعمال بر روی انواع قطعات فولادی تولید شده هستند را می‌توان توسط روش‌های کاملاً مکانیزه خودکار، نیمه خودکار و دستی در کمیت‌های بالا و پایین به صورت مداوم و غیر مداوم به انجام رساند. در شکل (۲۳) مراحل گالوانیزه گرم نشان داده شده است.



شکل ۲۳- مراحل انجام گالوانیزه گرم

### کاربرد پوشش های گالوانیزه گرم

پوشش های گالوانیزه اساساً به منظور ایجاد حفاظت در برابر خوردگی بر قطعات فولادی و چدنی اعمال می شوند. موارد استفاده از پوشش های گالوانیزه گرم بسیارند که برخی از آنها عبارتند از:

- ۱ فولادهای ساختمانی به کار رفته در نیروگاه ها، تأسیسات پتروشیمی، مبدل های حرارتی، کویل های خنک کننده و دکل ها و تیرهای انتقال نیرو.
- ۲ قطعات سازه پل ها، کانال ها، لوله های فولادی کرکره شده و قوس های دیگر.
- ۳ مقاوم کردن فولاد به کار رفته در برج های خنک کننده، بتن های پیش ساخته، معماری و قسمت های مسطح پل ها که در معرض خوردگی کلریدها قرار دارند.
- ۴ سخت افزار به کار رفته در سازه های برق رسانی، خطوط انتقال نیرو و خط آهن.
- ۵ حفاظ های بزرگراه ها، روشنایی های در سطوح بالا و پل های ساخته شده جهت نصب تابلوهای علایم.
- ۶ ستون ها و ریل های واقع در نواحی دریایی.
- ۷ شبکه ها، نردبان ها و محفظه های ایمنی.

### عناصر آلیاژ کننده حمام مذاب

کادمیم و آهن معمولاً به عنوان آلوده کننده های حمام حضور دارند که به عنوان عناصر ناخواسته موجود در فلز روی هستند. فلز آلومینیوم در غلظت های بسیار کم و حدوداً ۰/۰۲ درصد مذاب می تواند سبب تخلیه بهتر مذاب از سطح قطعات و افزایش درخشش پوشش های حاصله گردد. مقادیر جزئی سرب در حمام می تواند به منظور گلداری شدن پوشش، تخلیه بهتر ذرات ناخالصی و تفاله های ته حمام مذاب به کار رود. حضور آلومینیوم در غلظت های کمتر از ۰/۰۱ درصد معمولاً در حمام مذاب در روش های مختلف از جمله روش خشک و روش تر حفظ می شود. کلریدهای موجود که به مقدار زیاد در فلاکس هستند با آلومینیوم موجود در حمام مذاب واکنش کرده و در نتیجه یک لایه مسطحی متشکل از تفاله ته حمام (دراس)، اکسید و کلرید آلومینیوم در سطح حمام ایجاد می گردد.

### ضخامت پوشش

علاوه بر ترکیب شیمیایی فلز پایه و پروفیل سطحی قطعات (زبری و غیره)، ضخامت پوشش به دست آمده در اثر گالوانیزاسیون گرم تابعی است از:

- ۱ زمان غوطه‌وری که ضخامت لایه آلیاژ را کنترل می‌کند.
- ۲ سرعت بیرون کشیدن قطعات از حمام مذاب که کنترل‌کننده ضخامت لایه خالص چسبیده بر سطح قطعات است.
- ۳ دمای حمام مذاب که هم ضخامت لایه آلیاژ و هم ضخامت لایه خالص را کنترل می‌کند.

زمان حفاظت در برابر خوردگی که توسط پوشش روی تأمین می‌شود، توسط ضخامت پوشش تعیین می‌شود. مطالعات جامع بسیاری که در این زمینه انجام گرفته است نشان می‌دهد، تمامی عوامل دیگر نظیر روش اعمال پوشش، خلوص فلز روی مصرفی و میزان آلیاژ شدن در مقایسه با ضخامت پوشش، تأثیر بسیار جزئی بر عمر حفاظت پوشش از قطعه را دارند. معمولاً مقدار پوشش روی را بر حسب گرم بر متر مربع مساحت قطعه کار اندازه‌گیری می‌کنند. در مورد ورق‌های گالوانیزه مقدار پوشش در یک طرف ورق تقریباً نصف وزن متوسط بر حسب گرم بر متر مربع بیان شده است. گاهی ضخامت پوشش بر حسب هزارم اینچ یا بر حسب میکرومتر داده می‌شود و گاهی به صورت درصدی از وزن فولاد پایه بیان می‌شود.

### تمیزکاری قطعات قبل از گالوانیزه کردن

مراحل چربی‌گیری و اسیدشویی شست‌وشو با آب (آبکشی) باید انجام گیرد. در مورد قطعاتی که از چدن ریختگی و فولادهای کارشده در ساخت آنها استفاده شده است، آماده‌سازی سطحی بیشتری نیاز است و بهتر است تمیزکاری سایشی (مکانیکی) نیز بر روی آنها انجام گیرد.

اگرچه عملیات چربی‌گیری، اکسیدزدایی و آبکشی و سایر عملیات تمیزسازی، قسمت اعظم آلودگی‌ها و پوسته اکسیدی را از بین می‌برد، مقادیر جزئی ناخالصی‌ها به شکل اکسیدها، کلریدها، سولفات‌ها و سولفیدها در سطح قطعات ممکن است باقی بماند. این ناخالصی‌ها در صورتی که از بین نروند می‌توانند در واکنش آهن و روی در هنگامی که قطعه چدنی یا فولادی درون مذاب غوطه‌ور است تداخل کند. به همین منظور یک لایه فلاکس بر روی مذاب روی قرار داده می‌شود و هنگامی که قطعه وارد مذاب می‌شود ابتدا توسط فلاکس سطح آنها خیس می‌شوند معمولاً آمونیم کلراید اکسید روی جهت تشکیل یک لایه فلاکس بر سطح روی مورد استفاده قرار می‌گیرد که باید پایداری

قطعات چدنی و فولادی که قرار است گالوانیزه شوند پس از ساخت (قبل از فروبری در حمام روی مذاب) باید عاری از روغن، چربی و پوسته اکسیدی و سایر آلوده‌کننده‌های سطحی باشند. آماده‌سازی سطحی ناقص و نامناسب، بیشترین علت ایجاد ضایعات و نقاط سخت در پوشش‌های گالوانیزه را تشکیل می‌دهند.

ابتدا قطعات یا ورق‌ها در حمام‌های قلیایی متداول مثل سودسوزآور در دمای بین ۶۵ تا ۸۲ درجه سلسیوس چربی‌گیری می‌شوند و سپس توسط محلول‌های آبی سولفوریک اسید در غلظت‌های ۳ تا ۱۰ درصد وزنی در دمای ۶۰ الی ۸۰ درجه سلسیوس یا کلریدریک اسید در غلظت‌های ۳ تا ۱۵ درصد وزنی و در دمای محیط (۲۴ تا ۳۸ درجه سلسیوس و اگر بالای این دما باشد بخارات آن باعث آلودگی محیط خواهد شد)، جهت زدودن پوسته اکسیدی و زنگ‌زدگی قطعات فولادی، اسیدشویی می‌شوند. از آنجایی که هرگونه نمک آهن و یا ذرات آن در صورتی که بر روی سطح ورق یا قطعات باشد باعث ایجاد تفاله در حوضچه مذاب می‌شود، بنابراین پس از هر یک از این

شیمیایی کافی جهت تشکیل یک کف فعال در دمای گالوانیزاسیون (۴۴۵ درجه سلسیوس) را داشته باشد و بتواند عمل تمیزسازی را به درستی انجام دهد. یا اینکه حمام فلاکس به طور جداگانه وجود دارد و قبل از وارد شدن به روی مذاب ابتدا وارد فلاکس می کنند که این روش بیشتر کاربرد دارد. میزان مصرف فلاکس حدود ۳ کیلوگرم به ازای یک تن محصول می باشد.

### حمام گالوانیزاسیون

حمام روی مذاب معمولاً در دمای بین ۴۴۵ تا ۴۶۵ درجه سلسیوس جهت کار تولیدی کنترل می شود. بسته به ترکیب شیمیایی فولاد یا چدن، دمای حمام مذاب روی می تواند تأثیرات بسیار زیادی بر روی خواص متالورژیکی پوشش داشته باشد.

استفاده از حمام روی خالص مشکلاتی به همراه دارد که برای رفع آن حمام را به صورت آلیاژی از فلز روی تهیه می کنند که به فرایند پلیگالوا معروف است. پلیگالوا اساساً آلیاژی از روی است که دارای مقادیر معین و کنترل شده ای از فلزات آلومینیوم، منیزیم، قلع و سرب است. آلومینیوم به منظور به تأخیر انداختن تشکیل لایه بین فلزی و سایر عناصر به منظور حصول اطمینان از یکنواختی پوشش به کار گرفته شده است.

### زمان وارد و خارج کردن ورق یا قطعات از حمام مذاب

در گالوانیزاسیون قطعات پیش ساخته، ضخامت معمولاً توسط زمان غوطه وری کنترل می شود. به طور معمول زمان غوطه وری در محدوده ۱ الی ۵ دقیقه است که سریع غوطه ور کردن (فروبری) تأثیر زیادی در یکنواختی پوشش دارد. این امر در مورد قطعات طویل که اختلاف زمانی در فروبری ما بین نقاط ابتدایی و انتهایی آن زیاد است مهم تر بوده و باید بیشتر رعایت شود. به منظور ایجاد یک پوشش یکنواخت و با حداقل ضخامت، قطعات معمولاً با سرعت کم از درون حمام مذاب بیرون کشیده می شوند. سرعت بیرون کشیدن که کنترل کننده ضخامت لایه غیر آلیاژی (روی خالص) باقی مانده بر روی قطعات است، نسبت به نوع فرایند به کار گرفته شده متفاوت است و زمان مناسب برای بیرون کشیدن قطعات معمولاً در حدود ۱/۵ متر بر دقیقه است. در صنعت برای این منظور از جرثقیل های دو سرعته استفاده می شود که توسط این جرثقیل ها می توان قطعه کار را با سرعت زیاد وارد مذاب کرد و با سرعت کم از مذاب بیرون کشید. در مورد قطعات طویل که زمان بیرون کشیدن خیلی طولانی است، سرعت های بالا را می توان به کار برد.

### سانتریفیوژ کردن (گریز از مرکز) و سرمایش پس از گالوانیزاسیون

قطعات کوچکی که ممکن است روی اضافی موجود در سطح پوشش، موجب چسبیدن آنها به یکدیگر یا اختلال در کارایی آنها شود، در سبدهای مخصوص، گالوانیزه می شوند و بلافاصله بعد از خروج از مذاب به داخل دستگاه سانتریفیوژ منتقل و چرخانده می شوند. برطرف شدن روی موجود در سطح قطعه، موجب نازک شدن پوشش باقی مانده بر سطح، نسبت به حالت عادی می شود که این نازک شدن می تواند روی بسیاری از مشخصات پوشش تأثیر بگذارد. بعد از سانتریفیوژ، قطعات را به سرعت به داخل آب فرو می برند تا پوشش گالوانیزه ثابت شود و

قطعات به یکدیگر نچسبند. پس از انجماد نیز روی، در دمای زیاد می‌تواند به نفوذ خود در آهن ادامه دهد و همچنین آهن به خارج نفوذ می‌کند، در نتیجه زیاد شدن لایه آلیاژی و رسیدن آن به سطح، رنگ پوشش متمایل به خاکستری می‌شود. این موضوع ممکن است خریدار را به مرغوبیت محصول مشکوک کند اما ثابت شده است که اگر ضخامت آن یکسان باشد این پوشش خاکستری تقریباً همان مقاومت به خوردگی پوشش شفاف را دارد و تنها اختلاف در سرعت سرد کردن است که رنگ شفاف و یا مات (خاکستری) را ایجاد می‌کند.

برای جلوگیری از این مشکل و شفاف شدن پوشش باید بلافاصله بعد از خارج کردن قطعات از مذاب، آنها را با یک کمپرسور هوا تا حدود  $35^{\circ}\text{C}$  سرد کرد و بلافاصله در آب سرد کردن در آب مزایایی دارد مانند زدودن بقایای فلاکس و حفاظت در مقابل خوردگی. همچنین برای شفاف کردن پوشش مقادیر کمی روغن و یا صابون برای براق شدن لایه سطحی به آب اضافه می‌شود. آبی که برای سرد کردن قطعات به کار می‌رود به علت وارد شدن بقایای فلاکس در آن لازم است به‌طور متناوب عوض شود.



### گالوانیزه گرم

**مواد و وسایل مورد نیاز:** کوره آزمایشگاهی، بوتله نمره ۵، حمام چربی‌زدایی (سودسوزآور ۱۰٪)، حمام اسیدشویی (کلریدریک اسید ۱۵٪)، گیره، گرم‌کن، فولاد ST۳۷

### مراحل انجام آزمایش:

- ۱ ورق فولادی در اندازه  $100 \times 50$  میلی‌متر به ضخامت ۲ میلی‌متر را بریده و سنباده‌زنی انجام دهید.
- ۲ طبق اصول آماده‌سازی نمونه‌های فولادی، نمونه را در سود سوزآور ۱۰٪ و نیتریک اسید ۵۰٪ چربی‌زدایی و اکسیدزدایی کنید.
- نکته: بین هر مرحله، دو مرحله آبکشی انجام شود.
- ۳ روی خالص را به مقدار ۱ کیلوگرم در بوتله قرار داده و سپس مقدار ۱٪ وزنی نیز سرب به آن اضافه کنید و توسط کوره ذوب کنید.
- ۴ ورق فولادی را در محلول فلاکس به مدت ۲ دقیقه نگاه دارید.
- نکته: محلول فلاکس شامل کلرور روی ( $\text{ZnCl}_2$ ) به مقدار ۴۵٪ وزنی و کلرور آمونیم (نشادر) ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) به مقدار ۵٪ و آب به مقدار ۵۰٪ تهیه شود که باید در دمای  $50^{\circ}\text{C}$  الی  $60^{\circ}\text{C}$  درجه سلسیوس باشد.
- ۵ سپس ورق فولادی را تا دمای  $50^{\circ}\text{C}$  الی  $80^{\circ}\text{C}$  درجه سلسیوس پیش گرم کنید.
- نکته ایمنی: در صورتی که دمای پیش گرم کافی نباشد هنگام فروبری در مذاب سبب پاشش قطره‌های روی به اطراف و ایجاد حادثه می‌شود.
- ۶ ورق فولادی را به مدت ۱ دقیقه در حمام مذاب روی وارد کنید.
- نکته: نمونه را سریع وارد حمام کنید تا یکنواختی پوشش بهتر باشد.
- ۷ نمونه را سپس از حمام آهسته بیرون آورده و ضربه‌ای به نگهدارنده ورق بزنید تا روی اضافی از سطح ورق تخلیه شود و بلافاصله وارد آب کنید.
- نکته: دمای آب باید بین  $60^{\circ}\text{C}$  الی  $90^{\circ}\text{C}$  درجه سلسیوس باشد تا احتمال پیچیدگی یا پارگی قطعه در اثر خنک شدن بیش از حد زیاد نباشد.

۸ بعد از خارج کردن از آب، نمونه را در جای مناسبی قرار دهید.

- نکته: از نگهدارنده مناسب و لباس ایمنی استفاده شود.
- نکته: از انبر در اندازه مناسب استفاده کنید و در انجام کار دقت لازم را داشته باشید.
- نکته: وجود جعبه کمک‌های اولیه، کپسول آتش‌نشانی و سایر موارد در آزمایشگاه الزامی است.

از وسایل ایمنی جهت ذوب استفاده کنید.

عملیات پوشش دهی می‌تواند آسیب‌های جدی نظیر آلودگی آب‌های زیرزمینی ناشی از تخلیه پساب خام، آلودگی آب و خاک ناشی از پسماندهای فلزات سنگین و آلودگی هوا ناشی از انتشار بخارات سمی را به محیط زیست وارد کند. لذا در استفاده از مواد و انجام کارها دقت کافی را داشته باشید تا دورریز مواد کم باشد.

چه تغییراتی در سطح نمونه ایجاد شده است؟

این فعالیت را برای نمونه‌های مشابه در زمان غوطه‌وری ۱، ۳ و ۵ دقیقه انجام دهید و باهم مقایسه کنید. چه تفاوتی با افزایش زمان غوطه‌وری در نمونه‌ها مشاهده می‌کنید؟

### کنترل کیفیت پوشش‌های انجام شده

آزمایش‌های کنترل کیفیت در چند دسته مختلف مانند مشاهدات عینی، ترکیب شیمیایی، ضخامت، تخلخل، چسبندگی، تنش، قابلیت انعطاف، استحکام، سختی و مقاومت سایشی تقسیم‌بندی شده‌اند که در زیر چند مورد از آنها به‌طور مختصر توضیح داده شده است.

### مشاهدات عینی

مشاهدات عینی روشی ابتدایی برای کنترل است و برای بازرسی ظاهر پوشش قطعات مفید است. با این روش که بسیار سریع است، افراد با تجربه کاری بالا می‌توانند با مشاهده عینی اطلاعات بسیار مفیدی از کیفیت پوشش به دست بیاورند. با مشاهده می‌توان عیوب ناشی از پوشش نداشتن برخی نواحی و یا عیوب حاصل از صدمات مکانیکی را به سرعت تشخیص داد و معمولاً علل منجر به این عیوب را نیز می‌توان دید.

### ترکیب شیمیایی پوشش

برای به‌دست آوردن پوشش‌های مناسب، لازم است ترکیب شیمیایی آن را دقیقاً تنظیم کنیم. در عمل آزمایش ترکیب شیمیایی پوشش به علت نازک بودن پوشش و تماس آن با پوشش‌های دیگر و فلز زمینه مشکل است.

نکته ایمنی



نکته زیست محیطی



پرسش



فعالیت کارگاهی ۱۵



## اندازه‌گیری ضخامت پوشش

از آن جایی که عمر پوشش و دوام آن به ضخامت بستگی دارد، بنابراین لازم است با یکی از روش‌ها ضخامت آن تعیین شود. اگر ضخامت فلز پایه را دقیق بدانیم و ضخامت پوشش هم به حد کافی باشد می‌توانیم با وسایل عادی (از قبیل میکرومتر) ضخامت پوشش را تعیین کنیم. بهتر است که ضخامت پوشش را با روش‌های غیرمخرب اندازه بگیریم تا پوشش تخریب نشود و بعد از آزمایش قطعه را بتوان به کار برد. با استفاده از دستگاه مانومتر یا ضخامت سنج نیز که تصویر آن در شکل (۲۴) آورده شده است می‌توان ضخامت پوشش را اندازه‌گیری کرد.



شکل ۲۴- دستگاه‌های ضخامت‌سنج

اندازه‌گیری مستقیم ضخامت پوشش زیر میکروسکوپ، روشی است که معمولاً برای تمامی پوشش‌ها قابل اجرا است. به نحوی که نمونه را به صورت عرضی و عمود بر سطح پوشش برش داده و مانع می‌کنند و بعد از صیقل کاری در زیر میکروسکوپ با دقت بالا لایه‌های آلیاژی بین فلز و پوشش و ضخامت آنها را اندازه‌گیری می‌کنند.

روش وزنی نیز یکی دیگر از روش‌های پرکاربرد در صنعت است. روش وزنی یعنی زدودن پوشش و وزن کردن برای طیف وسیعی از پوشش به کار می‌رود و دقت آن ۵٪ است. این روش کاملاً تخریب‌کننده است و تنها متوسط مقدار پوشش را بر روی سطح نمونه می‌دهند. اصول کلی ساده است و عبارت است از وزن کردن نمونه‌ای با سطح معلوم قبل و بعد از شست‌وشو در محلول شیمیایی مناسب که فلز پوشش را از بین می‌برد ولی با فلز اصلی هیچ واکنشی نمی‌دهد. برای مثال پوشش‌های کادمیم، قلع یا روی را می‌توان در کلریدریک اسید حاوی تری‌اکسید آنتیموان و یا تری‌کلرور (که به عنوان ممانعت‌کننده عمل می‌کند) را از روی فولاد زدود. برای ورق‌های فولادی بزرگ نیز قطعه کوچکی از آن را می‌برند و بر روی آن آزمایش را انجام می‌دهند.

## ارزشیابی پایانی

<p><b>نقشه کار: انجام آزمایش های خوردگی و پوشش دهی</b>  <b>شاخص عملکرد:</b> ۱- پارامترهای اعمال پوشش سرد (آبکاری) ۲- پارامترهای اعمال پوشش گرم ۳- کیفیت نهایی پوشش</p>			
<p><b>شرایط انجام کار:</b>                  ۱- انجام کار در محیط کارگاه پوشش دادن ۲- نور یکنواخت با شدت ۴۰۰ لوکس ۳- تهویه استاندارد و دمای <math>20 \pm 3^{\circ}C</math> ۴- ابزارآلات و تجهیزات استاندارد و آماده به کار ۵- وسایل ایمنی استاندارد ۶- زمان ۱۵۰ دقیقه</p>			
<p><b>مواد مصرفی:</b> انواع اسید و محلول های شیمیایی - آند از جنس فلزات آبکاری - شمش روی - شمش قلع و ...</p>			
<p><b>ابزار و تجهیزات:</b> رکتیفایر - وان آبکاری - پ هاش متر (PHm) - دماسنج - مولتی متر - ضخامت سنج - زمان سنج - زبری سنج - کوره ذوب - بوته - وسایل اندازه گیری حجم و وزن و تجهیزات آزمایشگاهی (شامل بشر، لوله آزمایش و ...)</p> <p><b>نمونه و نقشه کار:</b>                  ۱- اندازه گیری پارامترهای مؤثر در وان آبکاری شامل دما، غلظت، زمان، پتانسیل، شدت جریان ... و تنظیم آنها جهت رسیدن به پوشش با ضخامت و کیفیت مطلوب                  ۲- اندازه گیری پارامترهای مؤثر در اعمال پوشش به روش گرم شامل دمای مذاب فلز پوشش، مقدار فلز پوشش، زمان نگهداری فولاد در مذاب فلز پوشش ... و تنظیم آنها جهت رسیدن به پوشش با ضخامت و کیفیت مطلوب                  ۳- بررسی کیفی پوشش نهایی از لحاظ یکنواختی ضخامت، پیوستگی، چسبندگی و ... و عدم وجود عیوبی نظیر عدم پیوستگی پوشش، زبری سطح و ...</p>			
<p><b>معیار شایستگی :</b></p>			
ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی	نمره هنرجو
۱	انجام آزمایشات خوردگی	۱	
۲	اعمال پوشش فلزی سرد روی فولاد	۲	
۳	اعمال پوشش فلزی گرم روی فولاد	۲	
۴	کنترل کیفیت پوشش	۱	
	<p><b>شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:</b>                      ۱- رعایت قواعد و اصول در مراحل کار                      ۲- مسئولیت پذیری                      ۳- مدیریت مواد و تجهیزات                      ۴- استفاده از لباس کار نسوز، دستکش نسوز، کفش ایمنی و عینک محافظ                      ۵- تمیز کردن وسایل و محیط کار</p>	۲	
	میانگین نمرات		*

\* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می باشد.



- ۱- برنامه‌درسی رشته متالورژی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و کاردانش، سال ۱۳۹۵.
  - ۲- جی.ا. رینولدز، ترجمه فرهاد رهبری، ۱۹۸۱، ریزساختار قطعات ریختگی، انتشارات جامعه ریخته‌گران ایران.
  - ۳- ا.تومر. ترجمه داود خرازیکار، ۱۳۷۶، ساختار فلزات زیر میکروسکوپ نوری، انتشارات دانشگاه صنعتی سهند تبریز.
  - ۴- ساعتچی، احمد. ۱۳۷۲، اصول و کاربرد عملیات حرارتی فولادها و چدن‌ها، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.
  - ۵- تویسرکانی، حسین. ۱۳۸۸، اصول علم مواد (ساختار، خواص و مهندسی مواد)، ویرایش سوم، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.
  - ۶- کمیسیون تخصصی رشته متالورژی، ۱۳۸۷، آزمایشگاه متالورژی، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.
  - ۷- آ.آر. بایلی. ترجمه احمد ساعتچی، ۱۳۷۰، مقدمه‌ای بر متالوگرافی، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان.
  - ۸- قربانعلی، محمد. ۱۳۸۵، پوشش دادن فلزات جلد ۱، مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف.
  - ۹- ساعتچی، احمد. ۱۳۷۸، مهندسی خوردگی، انتشارات مرکز جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان.
  - ۱۰- فتحی، محمد حسین. ۱۳۸۶، مواد قالب‌گیری برای ریخته‌گری فلزات، انتشارات ارکان دانش اصفهان.
- ۱۱- William D. Callister, Jr David G. Rethwisch. 2014. Materials Science and Engineering. Printed in the United States of America.
  - ۱۲- George F. Vander Voort. 1986. Applied metallography. Van Nostrand Rfinhold Company Inc.
  - ۱۳- ASM Handbook, Volume 3. 1992. Alloy Phase Diagram. Printed in the United States of America.
  - ۱۴- Bruce L. Bramfitt, Arlan O. Benschoter. 2002. Metallographer's Guide (Practices and Procedures for Irons and Steels). ASM International.
  - ۱۵- Janina M. Radzikowska. 1998. Metallography and Microstructures of Cast Iron. The Foundry Research Institute, Kraków, Poland.
  - ۱۶- Vander Voort, George F. 1999. Metallography, principles and practice. ASM International.
  - ۱۷- Małgorzata Warmuzek. 2004. Aluminum-Silicon Casting Alloys: Atlas of Microfractographs. ASM International.
  - ۱۸- Michael W. Davidson and Mortimer Abramowitz. 2004. optical microscopy. National High Magnetic Field Laboratory, The Florida State University.

