

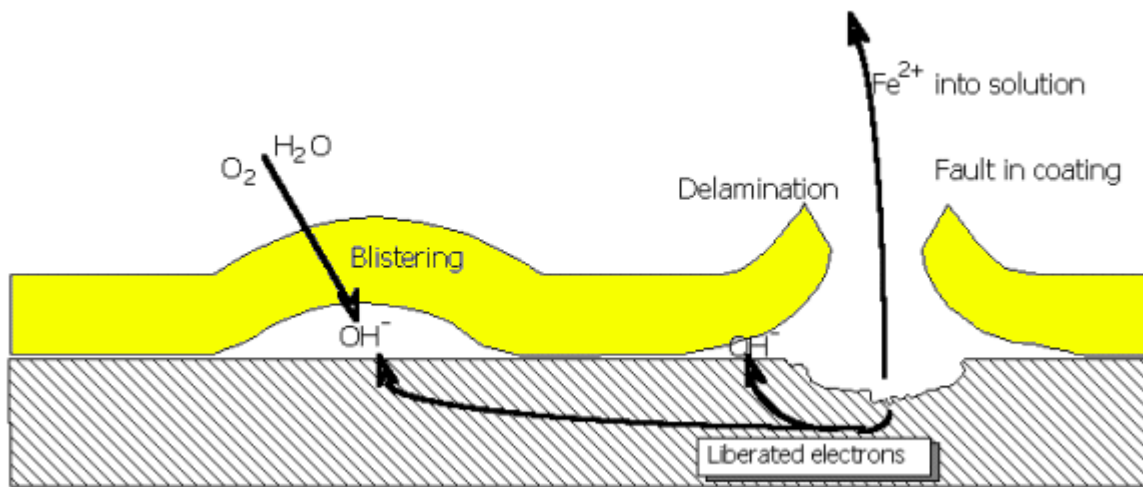
## بررسی خواص پوشش ها

MSRPCO Group

## ۴-۱ بررسی میزان جدایش کاتدی پوشش ها

خطوط لوله فولادی هم در زیر آب دریا و هم در زیر خاک مستعد به خوردگی می باشد. نرخ این خوردگی به جنس فولاد، دما، در دسترس بودن اکسیژن، آب و نمک های شیمیایی در سطح فلز بستگی دارد. برای محافظت از فولاد و کاهش نرخ خوردگی، پوشش های خاصی به سطح خارجی لوله اعمال می گردد [۱ و ۲]. بسته به نوع پوشش اعمالی، ممکن است در حین حمل و نقل و اجرای خطوط انتقال، در پوشش عیوب و آسیب دیدگی هایی ایجاد گردد. به همین دلیل خطوط لوله همواره تحت یک حفاظت از خوردگی دیگر مثل حفاظت کاتدی می باشد. موثر و کارآمد بودن سیستم های حفاظت کاتدی را با اندازه گیری پتانسیل بین سطح فلز محافظت شده و الکترولیت اطراف آن بدست می آورند [۳ و ۴].

حفاظت کاتدی تکنیکی برای جلوگیری از خوردگی سطح فلز (عموماً فولاد) می باشد، که توسط فراهم کردن جریان کاتدی کافی برای کم کردن حلالیت آندی یا خوردگی سطح فلز انجام می پذیرد. هنگام محافظت از فولاد، این تکنیک می تواند برای عملکرد پوشش اعمالی مضر باشد. نواحی آندی در شکاف ها و عیوب موجود در پوشش گسترش می یابد. محیط مهاجم درون سطح مشترک پوشش-نمونه گسترش یافته (شکل ۱-۴) و در این عیوب (کاتد) که در نتیجه ی حفاظت کاتدی بوده است جدایش کاتدی شروع شده و در اطراف عیوب منتشر می شود. این مفهوم تحت عنوان جدایش کاتدی معرفی می گردد. شکل ۲-۴ نمونه ای از تخریب پوشش به دلیل ایجاد شرایط جدایش کاتدی را نشان می دهد.



شکل ۱-۴: نحوه تخریب پوشش بواسطه جدایش کاتدی [۴].

تعمیم اقسام مختلف جدایش پوشش از سطح لوله به جدایش کاتدی، یک برداشت نادرست از این پدیده است. جدایش کاتدی مشخصاً در پیرامون حفره ها و منافذ<sup>۱</sup> و یا نقاط آسیب دیده پوشش تعریف می شود. مکانیسم های متفاوتی در ظهور جدایش کاتدی تاکنون به اثبات رسیده است ولی شاید بتوان گفت که پیش نیاز پیدایش جدایش کاتدی در بیشتر مکانیزم های موجود، تشکیل یک بستر قلیائی ناشی از تولید گروههای هیدروکسیل در محدوده منافذ و نقاط آسیب دیده پوشش است. نباید فراموش شود که جدایش کاتدی یکی از عوامل عمومی تخریب انواع پوشش های آلی خطوط لوله است که با اعمال جریان حفاظت کاتدی (CP) تشدید می شود [۴].

<sup>1</sup>Holiday



شکل ۲-۴: تخریب پوشش بواسطه جدایش کاتدی

### ۴-۱-۱ روش تعیین مقاومت پوشش به جدایش کاتدی با توجه به استاندارد Z245.20

تجهیزات مورد نیاز برای انجام این تست شامل موارد زیر می باشد:

- منبع تغذیه یکسو کننده DC با ولتاژ کنترل کننده خروجی
- صفحه داغ فولادی شامل ماسه و قابلیت کنترل دما با دقت ۳ درجه سانتیگراد (شکل ۳-۴)
- سیم پلاتینی یا الکتروود کربنی
- سیلندر پلاستیکی با قطر داخلی  $3 \pm 75$  میلی متر
- محلول ۳٪ سدیم کلراید در آب مقطر
- چاقوی مخصوص برش پوشش [۳]

نمونه تست:

نمونه تست پوشش دار برای انجام این آزمون باید بطور تقریبی ابعادی برابر  $۱۰۰*۱۰۰*۶/۴$  میلی متر داشته باشد.

#### ۴-۱-۳ روش انجام آزمایش

نمونه های تست به روش آزمایشگاهی با اعمال پوشش های مختلف کاملاً عاری از هرگونه عیب بر روی صفحه های فولادی به ابعاد  $۱۰۰*۱۰۰*۶$  میلی متر آماده گردید. بعد از فرآیند اعمال پوشش، نمونه ها از کوره خارج و تا دمای محیط خنک گردیدند. سپس سوراخی به قطر ۳ میلی متر در مرکز نمونه تست روی پوشش ایجاد شد تا نمونه فولادی در معرض محیط قرار بگیرد. سپس، مرکز سیلندر پلاستیکی در مرکز عیب در یک راستا قرار داده شد و درزگیر مناسبی جهت آب بندی و مقاومت به نشتی آب اعمال گردید (شکل ۴-۴) و به سیلندر محلول سدیم کلراید اضافه شد. الکتروود مرجع درون محلول فرو برده شد و به سیم مثبت منبع تغذیه DC وصل گردید. سیم منفی منبع تغذیه DC نیز به نمونه تست متصل شد.

برای بررسی جدایش کاتدی پوشش، آزمون مربوطه به دو صورت زیر انجام شد: [۳]

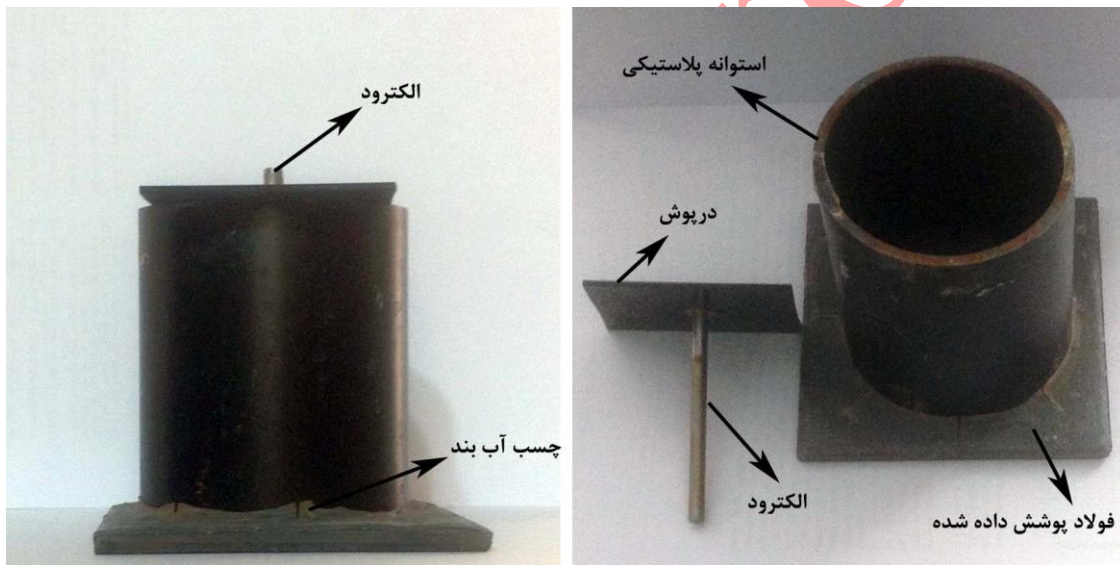
(۱)  $۱/۵$  ولت،  $۲۰ \pm ۳$  درجه سانتیگراد برای حداقل ۲۸ روز

(۲)  $۱/۵$  ولت،  $۸۰ \pm ۳$  درجه سانتیگراد برای حداقل ۲۸ روز

در طول مدت زمان انجام تست، سطح محلول درون سیلندر با افزودن آب مقطر ثابت نگه داشته شد. پس از تکمیل تست، درپوش سلول تست برداشته شد و نمونه ها مورد ارزیابی قرار گرفت [۳].

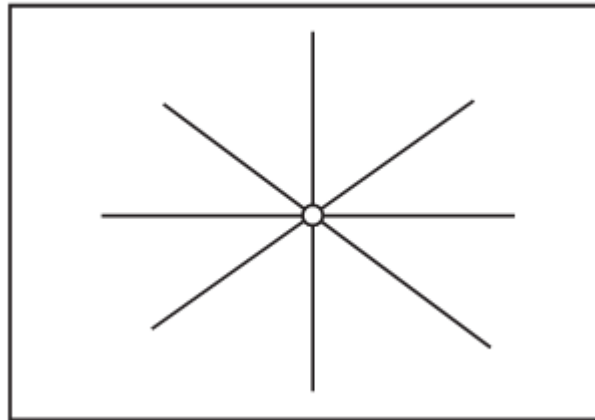


شکل ۳-۴: تجهیزات مورد نیاز برای آزمایش جدایش کاتدی در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد.



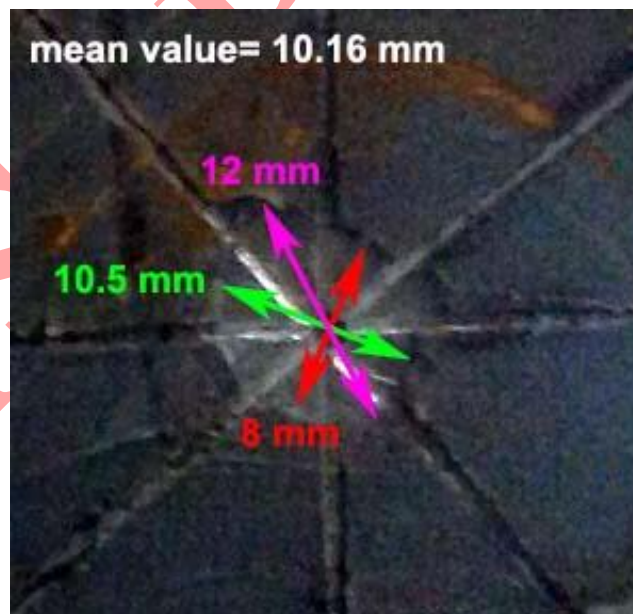
شکل ۴-۴: سل آزمایش جدایش کاتدی.

به منظور ارزیابی پوشش ها پس از اتمام زمان آزمایش، با استفاده از یک چاقوی مخصوص برش پوشش، هشت برش یکنواخت شعاعی بر روی پوشش مطابق شکل ۴-۵ ایجاد گردید بطوریکه طول این برش ها به میزان حداقل ۲۰ میلی متر از مرکز عیب باشد. سپس لبه تیز چاقو را زیر پوشش در قسمت عیب فرو برده و با استفاده از نیروی اهرمی پوشش کنده شد. این کار تا وقتی پوشش مقاومت خاصی به این نیروی نشان می دهد، ادامه یافت.



شکل ۴-۵: نحوه ایجاد برش بر روی نمونه تست جدایش کاتدی.

سپس فاصله جدایش از لبه پوشش کنده شده تا لبه دیگر در امتداد هر یک از برش ها اندازه گیری شد (شکل ۶-۴) و میانگین مقادیر اندازه گیری شده به عنوان میزان جدایش کاتدی گزارش گردید.



شکل ۶-۴: اندازه گیری میزان جدایش پوشش در تست جدایش کاتدی.



## ۴-۲ بررسی انعطاف پذیری پوشش ها

دستگاه خمش سنبه ای و ماندردل<sup>۲</sup> برای تست نمونه های فولادی پوشش داده شده استفاده می شود. موضوع اصلی تست خمش، بدست آوردن انعطاف پذیری پوشش تحت شرایط خمش می باشد. قبل از خمش نمونه، آن را جهت پیدا کردن عیوب مورد بازرسی چشمی قرار می دهند و در صورت سالم بودن نمونه، تحت این آزمون میزان انعطاف پذیری پوشش بررسی می گردد. این آزمون به دو صورت ماندردل مخروطی شکل با شعاع متغیر (شکل ۴-۱۰) و ماندردل استوانه ای شکل با شعاع ثابت (شکل ۴-۱۱) انجام می شود. در حالت اول، صفحه های فلزی پوشش داده شده دور محور فلزی مخروطی شکل خم می شوند. در این آزمون نتایج به صورت ثبت فاصله از انتهای کوچک مخروط تا محل ترک خوردگی در نمونه گزارش می شود. همچنین در این آزمون صفحه ی پوشش داده شده در زمان حدود یک ثانیه تا زاویه ۱۳۵ درجه حول محور مخروطی شکل خم می شود [۶]. در حالت دوم صفحه های فلزی پوشش داده شده دور محور فلزی استوانه ای شکل خم می شوند. و زاویه خمش که منجر به ایجاد ترک در پوشش می گردد، گزارش می شود. در این آزمون هرچه زاویه خمش منجر به ایجاد ترک بیشتر باشد، نشان دهنده انعطاف پذیری بیشتر برای پوشش است.

<sup>2</sup>mandrel





شکل ۱۰-۴: تست خمش با ماندل مخروطی.



شکل ۱۱-۴: تست خمش با ماندل استوانه ای.

## ۱-۲-۴ روش تعیین مقاومت به خمش پوشش‌ها با توجه به استاندارد Z245.20

تجهیزات:

برای انجام این تست تجهیزات بایستی شامل موارد زیر باشد:

- ماندلر خمش با شعاع ثابت

- فریزر یا سرد کننده

نمونه تست:

نمونه تست پوشش دار برای انجام این آزمون باید بطور تقریبی ابعادی برابر  $1 \times 200 \times 25$  میلی متر را دارا باشد.

### ۴-۲-۲ روش انجام آزمایش

ابتدا لبه های نمونه های پوشش داده شده برای از بین بردن هرگونه افزایش تنش صیقل داده شد. سپس نمونه های تست در فریزر تحت دمای صفر درجه سانتیگراد سرد گردید. به منظور یکنواخت شدن دما، نمونه ها در دمای مورد نظر به مدت یک ساعت درون فریزر نگهداری شدند.

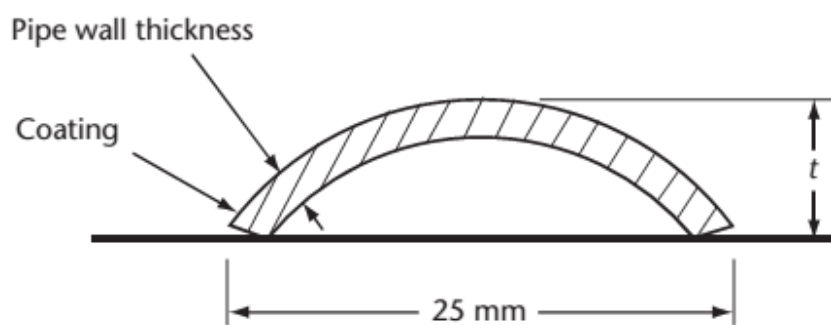
به منظور تعیین شعاع ماندلر مورد نیاز، ابتدا ضخامت نمونه ( $t$ )، مطابق شکل ۱۲-۴ با قرار دادن نمونه بر روی سطح صاف، اندازه گیری شد [۳]. سپس شعاع ماندلر با توجه به خمیدگی مورد نیاز، مطابق رابطه زیر تعیین گردید.

$$R = 18.6 t$$

R و شعاع ماندلر (میلی متر) t ضخامت نمونه (میلی متر)

شعاع ماندلر انتخابی نباید بیشتر از مقدار محاسبه شده باشد. با توجه به اینکه ضخامت نمونه های مورد بررسی در این آزمون ۲ میلی متر می باشد، شعاع ماندلر مورد نیاز ۳۵ میلی متر محاسبه گردید و برای انجام آزمون استفاده شد. پس از تعیین شعاع ماندلر، نمونه های تست حول ماندلر مربوطه خم شدند. این عملیات طی مدت زمان ۳۰ ثانیه بعد از خارج شدن نمونه از فریزر برای هر یک از نمونه های مورد بررسی کامل گردید. زاویه خمش

منجر به ترک خوردگی به همراه تصاویر مربوط به ترک های ایجاد شده به عنوان نتایج این آزمون، گزارش گردیده است.



شکل ۱۲-۴: اندازه گیری ضخامت نمونه خم شده.

MSRP GROUP

## ۳-۴ بررسی چسبندگی پوشش ها

به طور کلی مقاومت پوشش در مقابل بر داشته شدن و جدا شدن از روی سطحی که بر آن اعمال شده، چسبندگی نامیده می شود. برای اطمینان از اعمال پوشش به طور مناسب بر روی سطح فلز باید چسبندگی به روی سطوح اعمال شده را مورد بررسی و آزمایش قرار داد. روش های متفاوتی جهت بررسی چسبندگی پوشش به سطح مورد نظر مورد استفاده قرار می گیرد که مهمترین آنها روش های تست با چاقو، تست چسب نواری و Pull Off Test می باشند. چسبندگی پدیده ی بسیار پیچیده ای است و به روش های مختلف می توان آن را بررسی کرد.

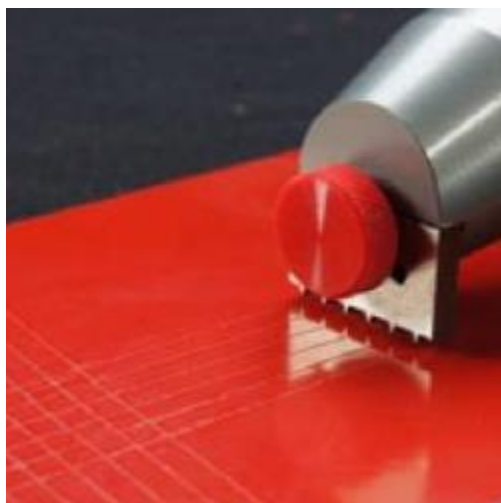
متداول ترین روش برای بررسی چسبندگی پوشش های FBE، روش برش با چاقو است که به دو صورت برش متقاطع و برش مستطیلی انجام می پذیرد. در روش برش متقاطع، با چاقوهای خاصی برش های متقاطعی بر روی فیلم پخت شده ایجاد می شود، سپس با استفاده از چسب خاصی میزان چسبندگی به سطح مشخص می شود که مطابق با استاندارد بسته به میزان جدا شدن پوشش از سطح زیرین درجه بندی می شود.

در شکل ۱۹-۴ نمونه ای از ایجاد شیار به روش برش های متقاطع نشان داده شده است. در جدول ۵-۴ نیز با توجه به کنده شدن پوشش به وسیله این شیاریها، چسبندگی پوشش با توجه به استانداردهای ISO و ASTM طبقه بندی شده است [۸-۶].

در روش برش مستطیلی با استفاده از چاقوی مخصوص، برشی مستطیل شکل بر روی پوشش ایجاد شده (شکل ۴-۲۰) و سپس لبه تیز چاقو را زیر پوشش فرو برده و با استفاده از نیروی اهرمی پوشش کنده می شود. این کار تا وقتی پوشش مقاومت خاصی به این نیروی اهرمی نشان می دهد، ادامه می یابد. جزئیات این روش به تفصیل در ادامه ارائه شده است.



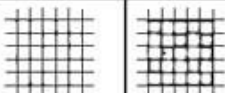
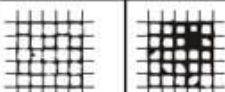
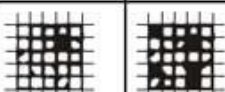

<sup>3</sup>Knife Test

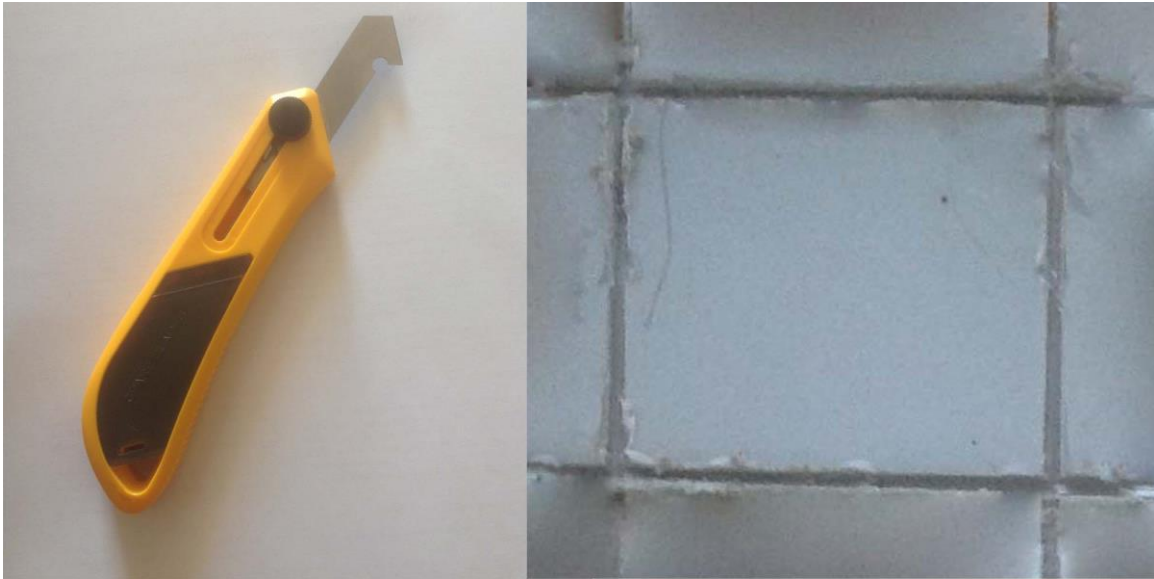
<sup>4</sup>Tape Test



شکل ۴-۱۹: ایجاد شیارهای متقاطع به منظور انجام تست چسبندگی پوشش.

جدول ۴-۵: طبقه بندی نتیجه تست چسبندگی.

Surface	Description	ISO	ASTM
	The edges of the cuts are completely smooth; none of the squares of the lattice is detached.	0	5B
	Detachment of flakes of the coating at the intersections of the cuts. A cross cut area not significantly greater than 5% is affected.	1	4B
	The coating has flaked along the edges and/or at the intersections of the cuts. A cross cut area significantly greater than 5%, but not significantly greater than 15% is affected.	2	3B
	The coating has flaked along the edges of the cuts partly or wholly in large ribbons, and/or it has flaked partly or wholly on different parts of the squares. A cross cut area significantly greater than 15%, but not significantly greater than 35%, is affected.	3	2B
	The coating has flaked along the edges of the cuts in large ribbons and/or some squares have detached partly or wholly. A cross cut area significantly greater than 35%, but not significantly greater than 65%, is affected.	4	1B
	Any degree of flaking that cannot be classified even by classification 4 (1B).	5	0B



شکل ۲۰-۴: ایجاد شیار مستطیلی با چاقوی مخصوص برش به منظور انجام تست چسبندگی پوشش.

MSRP GROUP

## ۱-۳-۴ روش تعیین چسبندگی پوشش به زیرلایه با توجه به استاندارد Z245.20

### تجهیزات:

برای انجام این تست تجهیزات باید شامل موارد زیر باشد:

- کنترل کننده دما و حمام آب غیر خورنده

- چاقوی مخصوص برش پوشش

### نمونه تست:

ابعاد نمونه تست پوشش دار آزمایشگاهی باید تقریباً  $100 * 100$  میلی متر باشد.

## ۴-۳-۲ روش انجام آزمایش

برای انجام این آزمون ابتدا حمام آب گرم با  $80$  درجه سانتیگراد آماده شد. این حمام دارای سیستم کنترل دما بوده تا دمای حمام در طول آزمون ثابت نگهداشته شود. نمونه های پوشش داده شده در این حمام به مدت زمان  $28$  روز غوطه ور شدند. پس از طی زمان ذکر شده، نمونه ها از حمام خارج شدند و در حالی که نمونه تست هنوز گرم است، با استفاده از چاقوی مخصوص خراشی مستطیلی به ابعاد  $25 * 30$  میلی متر روی سطح پوشش ایجاد گردید، به طوریکه عمق شیار ایجاد شده کل ضخامت پوشش را طی کرده و به سطح فلز زیرین برسد. بعد از اعمال شیار بر روی نمونه ها، به آنها زمان کافی داده شد تا خنک شده و به دمای محیط برسند. سپس نوک چاقوی مخصوص زیر پوشش در گوشه خراش مستطیلی فرو برده شد و با استفاده از نیروی اهرمی پوشش از روی سطح فلز کنده شد. این عمل تا جایی که پوشش به نیروی اهرمی وارده مقاومت نشان دهد، ادامه یافت [۳].

سپس با توجه به میزان سطح کنده شده از پوشش در محدوده مستطیلی، میزان چسبندگی پوشش به صورت زیر درجه بندی گردید و درجه چسبندگی بدست آمده گزارش شد.

درجه چسبندگی پوشش:



درجه بندی ۱: پوشش از روی سطح برداشته نمی شود.

درجه بندی ۲: کمتر از ۵۰٪ پوشش از روی سطح برداشته می شود.

درجه بندی ۳: بیش از ۵۰٪ از پوشش از روی سطح برداشته می شود اما پوشش مقاومت مشخصی به نیروی اهرمی وارده نشان می دهد.

درجه بندی ۴: پوشش به راحتی و به صورت تکه های بزرگ یا نواری برداشته می شود.

درجه بندی ۵: تمام پوشش به صورت یک تکه برداشته می شود.

#### ۴-۴ بررسی میزان زبری و درجه تمیزی سطح بر روی میزان جدایش کاتدی

یکی از معمولی ترین راهها برای حفاظت مخازن، خطوط لوله، سازه های فلزی و بدنه کشتیها در مقابل عوامل خوردنده محیط، پوشش به وسیله رنگها، رزینها و عایقها می باشد. داشتن یک سطح مناسب، تمیز و عاری از هرگونه زنگ زدگی و همچنین زبری مناسب جهت اجرای پوشش، لازم و ضروری می باشد [۹].

برای تمیز کاری سطوح در ابعاد کوچک روش های سنگ زنی، سمباده زنی و برس زنی و در ابعاد وسیع تجاری آن سند بلاست (شکل ۲۲-۴) انجام می گیرد.



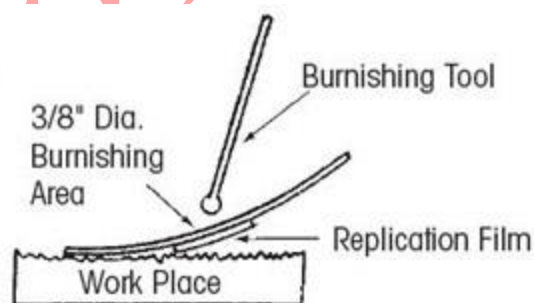
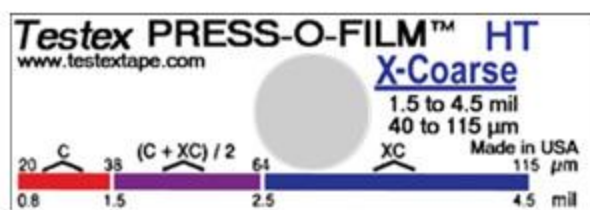
شکل ۲۲-۴: انجام سند بلاست پیش از اعمال پوشش

عملیات سند بلاست عمدتاً جهت نیل به دو هدف انجام می شود:

- زدودن و برطرف نمودن جرمهای خارجی و زنگ زدگی و رسیدن به سطح فلز.

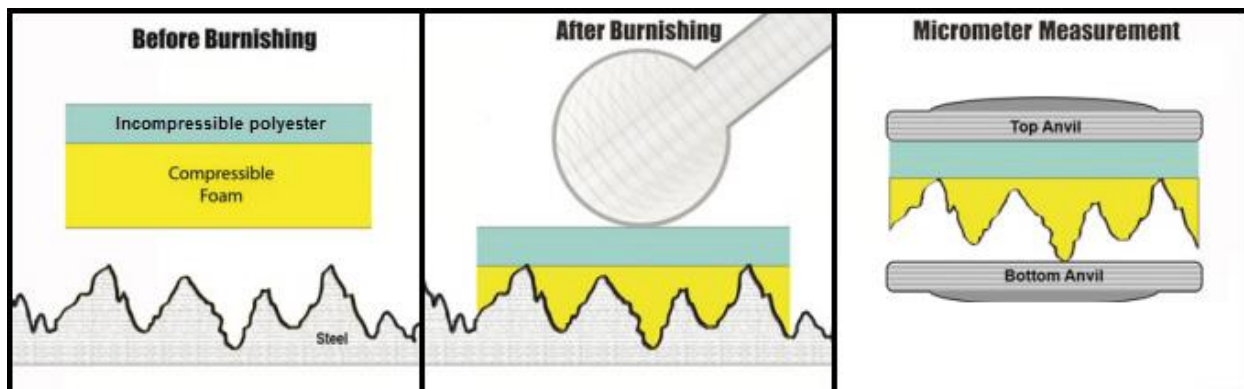
- ایجاد پروفیل (زبری) مناسب در سطح فلز جهت چسبندگی بهتر فیلم پوشش جهت حفاظت.

پس از تمیزکاری سطحی باید از ایجاد پروفیل زبری سطحی مناسب اطمینان حاصل نمود، تا بتوان پوشش را روی سطح اعمال نمود. یکی از روشهایی که به این منظور استفاده می شود، روش استفاده از Press O Film می باشد. در این روش ابتدا فیلم مخصوصی که در وسط آن فوم دایره‌ای شکل قرار دارد را روی سطح چسبانده و بوسیله سنبه بایستی آن را بر روی سطح فشرده (شکل ۲۳-۴) [۹].



شکل ۲۳-۴: چسباندن و فشردن فیلم روی سطح به منظور اندازه گیری زبری سطح.

پس از فشردن آن، فیلم را از سطح جدا کرده و با استفاده از میکرومتر نواری پستی و بلندی فوم دایره‌ای شکل را اندازه گیری می کنند. در شکل ۲۴-۴ بطور شماتیک مراحل استفاده از Press O Film آورده شده است [۹].



شکل ۲۴-۴: شماتیک مراحل استفاده از Press O Film.

MSRP group