

# بسمه تعالی

## مقاله چسبندگی و نقش آن در حفاظت لوله‌های فولادی مدفون

### مقدمه:

چسبندگی یک خاصیت فیزیکی است و نقش بسزایی در حفاظت لوله‌های فولادی مدفون در زمین از خورده شدن دارد. یکی از راههای جلوگیری از زنگ زدگی و تخریب فلزات، عایقکاری و ایزوله کردن سطوح خارجی لوله‌ها با یکی از پوششها شامل نوارهای پلاستیکی (پوشش سرد) یا پوشش‌های قیری (پوشش گرم)، قیر اصلاح شده نفتی با نام تجاری بیتوسیل، پلی اتیلن یا پلی پروپیلن سه لایه و پوششهای مایع می‌باشد.

در تمام موارد فوق چسبندگی مواد عایقی بسطح لوله‌ها نقشی بسیار مهم، مؤثر و تعیین‌کننده در حفاظت لوله‌های مدفون دارد. بنابراین کاربرد عایقهای بدون چسبندگی یا با چسبندگی ضعیف جنبه موقتی داشته و سطح فلز را بطور موقت در مقابل عوامل و محیط‌های خورنده حفاظت می‌کند. رسیدن به چسبندگی مطلوب به عواملی همچون استفاده از مواد پوششی با کیفیت بالا، رسیدن به سطحی کاملاً تمیز و اجرا منطبق با استاندارد دارد. عدم داشتن اطلاعات و نبود شناخت کافی از مکانیسم و مسائل مربوط به چسبندگی پوششها به خصوص مباحث استاندارد، می‌تواند دست اندرکاران را با مشکلات جبران ناپذیری روبرو سازد. بنابراین داشتن اطلاع کافی از مباحث فنی مطرح شده در استانداردهای پوشش و شناخت فاکتورهای تأثیرگذار، مطمئناً در روند کیفی می‌تواند به دست‌اندرکاران کمک شایانی داشته باشد.

از این رو در این مقاله سعی شده است به مباحثی مانند چسب، مکانیسم چسبندگی، نیروهای مؤثر در ایجاد چسبندگی، زیرسازی و استاندارد و دستورالعمل‌ها توجه و اشاره شود.

### شناخت انواع چسبندگی:

Adhesion - ۱

cohesion - ۲

### - Adhesion یا چسبندگی:

اثر نیروهای جاذبه در روی سطح بین فلز و لایه چسب مواد عایقی که در پوششها نوع و ضخامت چسبها متفاوت است باعث چسبندگی پوشش می گردد.

نیروی چسبندگی پوششها به سطح لوله متفاوت بوده و از این رو پیوستگی در تداوم چسبندگی بسیار عامل مهمی می باشد .

### - Cohesion یا پیوستگی (چسبندگی درونی):

اثر نیروهای جاذبه مولکولی بین مولکولها و اتمهای مواد چسبی، باعث یکپارچگی و عدم گسیختگی مواد چسبی و پوشش می گردد.

### - تعریف چسب:

چسب یا مواد چسبی، مواد عالی هستند که اجسام جامد را بوسیله چسبندگی بیکدیگر متصل می کند و عموماً از ترکیبات ذیل تشکیل می گردند .

۱- ماده اصلی چسبنده

۲- حلالها

۳- مواد روان کننده (جهت پائین آوردن درجه حرارت برای مایع شدن چسبها)

۴- مواد پرکننده (جهت روند بهتر چسبندگی و کاهش قیمت)

۵- مواد سخت کننده (در اثر فعل و انفعالات شیمیایی در داخل چسبها سختی ایجاد می کند)

۶- تسریع کنندهها (باعث افزایش سرعت فعل و انفعالات شیمیایی می شود)

۷- مواد پخش کننده (جهت پخش شدن بهتر مواد چسبی و نفوذ آن بداخل در خلل و فرج های روی سطح فلز)

۸- مواد ثابت کننده (جهت ایجاد ثبات و پایداری خواص شیمیایی و جلوگیری از تجزیه چسب قبل از مصرف)

۹- مواد ضد باکتری و کپک (جهت جلوگیری از فاسد شدن مواد چسبی)

۱۰- مواد شیمیایی

اغلب ترکیبات فوق عملاً بر روی بعضی خواص مانند غلظت، قابلیت پخش و پوشاندن، نیروی چسبندگی درونی، مقاومت در برابر درجه حرارت می تواند اثرگذار باشد اما در خاصیت اصلی چسب، بی تأثیر است.

## تقسیم بندی چسب‌ها:

دسته بندی چسب‌ها از جنبه‌های مختلف بشرح زیر است:

۱- شکل ظاهری (مایع – suspension-Emulsion – جامد)

۲- شیمیایی

۳- مکانیسم چسبندگی (تبخیر مواد حلال، فعل و انفعالات شیمیایی پلیمریزاسیون و ...)

۴- کاربرد

۵- سرعت خشک شدن

با توجه به دسته بندی اشاره شده دربالا، چسب‌های بکار رفته در مواد پوششی که در امر عایقکاری لوله‌ها استفاده می‌شود حسب نوع پوشش متفاوت می‌باشد. برای مثال در پوششهای سرد نواری لایه چسب از نوع بوتیل رابریایتومن در قیر کلروپرن می‌باشد. چسب پرایمرها با چسب عایق‌ها باید همخوانی داشته باشد.

## – خواص کلی چسب‌ها:

خواص کلی چسب‌ها عبارتند از:

۱- زنجیرهای مولکولی درشت

۲- زنجیرهای مولکولی درشت با شاخه‌های کوتاه

\*زنجیرهای بلند باعث چسبندگی درونی شده و استحکام اولیه چسب را بالا می‌برد و این در حالی است که شاخه‌های کوتاهتر باعث ایجاد چسبندگی بین فلز و لایه چسب می‌گردد.

۳- یکنواختی در نظم زنجیره‌های مولکولی

\* لایه‌های نازک چسب از استحکام بیشتری نسبت به لایه‌های ضخیم‌تر برخوردار است.

۴- قابلیت پوشش دهی و پخش شدن و نفوذ بر روی سطح لوله و لایه محافظ (پلاستیک)

۵- نیروی چسبندگی اولیه باید به اندازه کافی باشد

۶- در برابر شرایط اجرا، از آسیب پذیری کمتری برخوردار باشد

۷- در برابر شرایط محیطی، آب و هوا و اتمسفر مقاوم باشد

۸- حفظ خواص الاستیکی در درجه حرارتهای مختلف کاربردی و بهره‌برداری

۹- حفظ و پایداری خواص فیزیکی، شیمیایی و دوام طولانی حالت چسبندگی. دسته بندی ذیل حالت چسبندگی:

۹-۱- خاصیت چسبندگی می تواند قابل برگشت یا Reversible و غیر قابل برگشت یا irreversible باشد.

۹-۲- چسبهای کلروپرن در پرایمرهای پوشش گرم (قیری) از نوع غیر قابل برگشت هستند. یعنی اگر در اثر عواملی مانند

ضربه یا غیره عدم چسبندگی بوجود آید دیگر به هیچ وجه خاصیت چسبندگی پرایمر عایقهای قیری قابل برگشت نخواهد بود.

۹-۳- چسبهای بوتیل رابر و بیتومن در عایقهای نواری که کائوچوی طبیعی در آنها است، از نوع قابل برگشت می باشد و اگر در

اثر عوامل مختلف عدم چسبندگی بوجود آید، خاصیت چسبندگی تا حدودی قابل احیاء خواهد بود.

### – مکانیسم چسبندگی:

چگونگی ایجاد چسبندگی پوشش در عایقکاری لوله ها و رسیدن به حداکثر نیرو و پایدار ماندن چسبندگی بسیار مهم است که

همیشه بعنوان یک سؤال این فرآیند پیچیده نزد کارشناسان مطرح می باشد. لذا شناخت دقیق کلیه عوامل تأثیر گذار در مکانیسم

چسبندگی بسیار مهم است که توسط متخصصین امر می بایست به آنها توجه شود.

### – انواع چسبندگی به لحاظ مکانیسم:

سه نوع چسبندگی از لحاظ مکانیسم وجود دارد که عبارتند از:

۱- نوع شیمیایی

۲- نوع مکانیکی

۳- نوع جاذبه ای

عموماً در شکل گیری چسبندگی، دو تا از سه نوع مکانیسم فوق می تواند مؤثر و تأثیر گذار باشد. البته مکانیسم های اشاره شده به

نوع و وضع سطح فلز بستگی دارند. در عایقکاری لوله ها به روش های معمول، مکانیسم جاذبه ای و مکانیکی هر دو دخالت دارند.

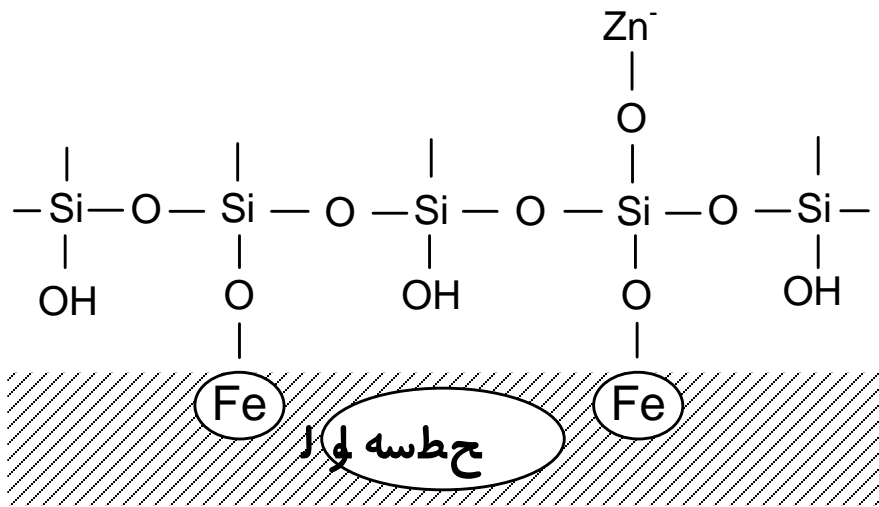
– شرح مکانیسم های فوق:

۱- چسبندگی شیمیایی:

بی شک چسبندگی شیمیایی مؤثرترین نوع چسبندگی است. این نوع چسبندگی موقعی که پوشش و سطح لوله با هم ایجاد فعل و

انفعال شیمیایی می کنند بوجود می آید.

به مثالهای زیر که به صورت شکل ارائه شده توجه شود:

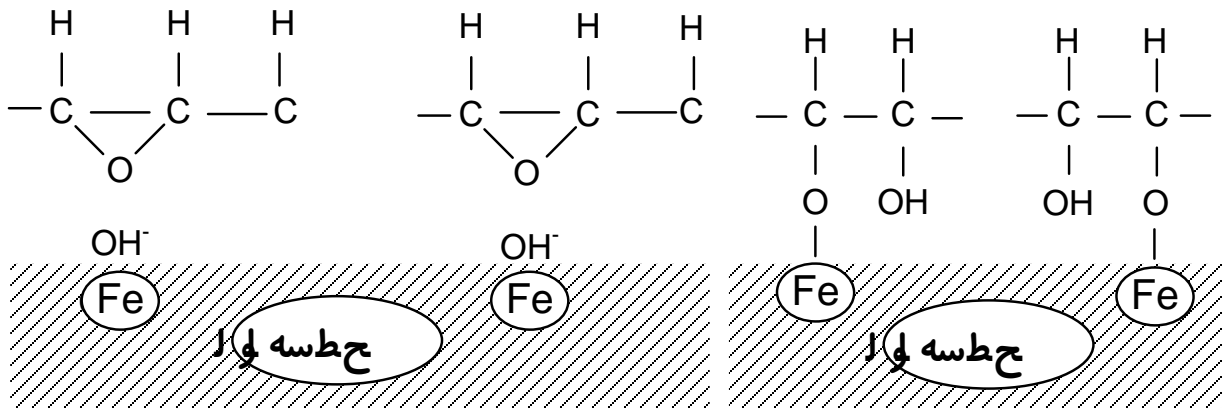


شکل ۱- چگونگی اتصال یا باند شیمیایی بین اتم آهن و اکسیژن در هنگام پوشش روی

مولکولهای اپوکسی توسط گروههای Hydroxide که در سطح فلز در اثر رطوبت هوا بوجود می آید به سطح فلز اتصال می یابند .

فعل و انفعال شیمیایی انجام شده بین Epoxy و Hydroxide از نوع استخلاق است. برای رویت فعل و انفعال شیمیایی و

چسبندگی اپوکسی به سطح لوله به شکل زیر توجه شود.



شکل ۲- فعل و انفعال شیمیایی و چسبندگی پوشش اپوکسی به سطح لوله

## ۲- چسبندگی نوع مکانیکی:

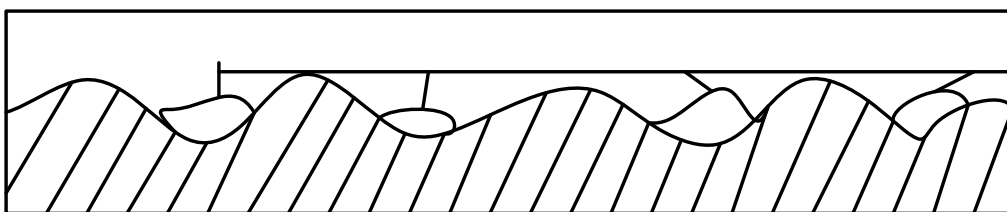
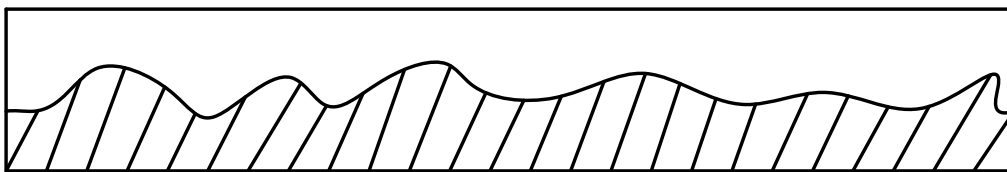
این نوع چسبندگی در اثر نفوذ کردن و درگیر شدن مولکولهای پلیمری چسب به ناهمواریهای سطح لوله ایجاد و بوجود می آید.

مقدار آن بستگی مستقیم به میزان زبری یا همان ناهمواری سطح (Surface Profile) دارد. به همواری سطح، Anchor Pattern

نیز گفته می شود.

میزان زبری سطح لوله حسب نوع پوشش متفاوت است. اصولاً زبری ۴۰ تا ۱۰۰ میکرون بعنوان حداقل و حداکثر در استانداردها برای عایق لوله‌های فولادی در نظر گرفته شده است و بر اساس استاندارد بین‌المللی ISO 8503-2 و ISO-8503 زبری سطح لوله آزمایش و کنترل می‌گردد. کم و زیاد بودن میزان زبری (قله تادره) در میزان چسبندگی پوشش به لوله می‌تواند ضعف ایجاد کند.

به شکل ۳ و ۴ در ذیل توجه شود.



ه ی سیج  
باب طوه  
ح طسه و ت

چسبندگی مکانیکی معمولاً با چسبندگی جاذبه‌ای توأم عمل می‌کند و در سطح صاف و یکنواخت اثر چسبندگی جاذبه‌ای بمراتب بیشتر از مکانیکی است. در اثر ناهموار کردن سطح فلز غیر از افزایش چسبندگی مکانیکی، چسبندگی جاذبه‌ای نیز افزایش پیدا می‌کند. چون با زیادتر شدن سطح فلز ناشی از ناهموار شدن یا پروفایل، نقاط بیشتری از فلز در مقابل نیروهای جاذبه‌ای قرار می‌گیرد.

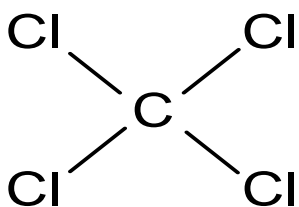
### ۳- چسبندگی نوع جاذبه‌ای:

چسبندگی نوع جاذبه‌ای مهمترین قسمت از فرآیند چسبندگی پوشش به لوله است. در عایقکاری و رنگ آمیزی لوله‌ها، چسبندگی نوع جاذبه‌ای نقش بسزا و مهمی دارد و در اثر نیروهای جاذبه‌ای بین چسب و سطح لوله به وجود می‌آید. کیفیت چسبندگی نوع جاذبه‌ای زمانی که سطح فلز و پوشش با چسب مواد عایقی به اندازه کافی بهم نزدیک شوند مؤثر می‌باشد. آلوده بودن سطح لوله به مواد چربی، نمک‌های محلول، گرد و خاک و پوسته‌های زنگ که عموماً ضخامت آنها می‌تواند از ۵ آنگستروم بیشتر باشد، در چسبندگی اثر نامطلوب بجا می‌گذارد.

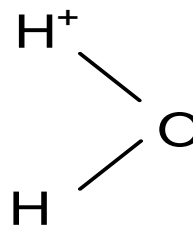
– نیروهای مؤثر در چسبندگی نوع جاذبه‌ای:

۱- نیروهای قطبی (polar):

لازمه آن بوجود آمدن مولکول‌های Dipole می‌باشد.



لوکلریغی

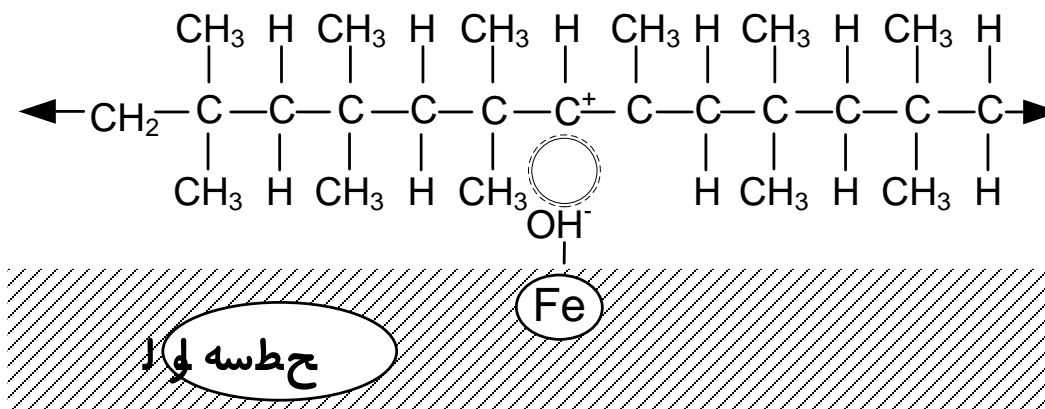


لوکلجی بق

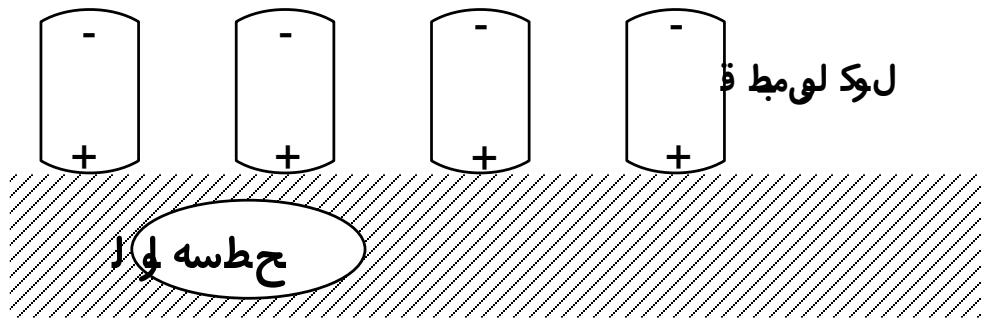
Dipole ها مولکول‌هایی هستند مانند مولکول آب (HOH) که در آن در اثر قویتر بودن یکی از اتم‌ها تشکیل دهنده مولکول آب که اکسیژن است، بارهای منفی یا الکترون‌ها بیشتر به سمت اتم اکسیژن متمرکز می‌گردند و در نتیجه مولکول حالت قطبیت پیدا کرده، دارای دو قطب مثبت و منفی است که مثل مغناطیس عمل کرده و باعث نیروهای جاذبه‌ای می‌شود. این نوع نیروها نقش بسیار مهم و پراهمیتی در چسب‌ها دارند.

چسب بوتیل را بر نمونه خوبی در این خصوص است که در نوارهای سرد پلاستیکی برای در عایقکاری لوله‌ها بکار می‌رود. این ماده از پلیمریزاسیون ایزوبوتیلن بدست می‌آید و نسبت به رزین‌های طبیعی ارزاتر بوده و مقاومت خوبی در مقابل نفوذ آب دارد.

مولکول آب دارای کربن‌هایی با پلاریته مثبت بوده و با یونهای OH<sup>-</sup> روی سطح فلز ایجاد جاذبه می‌کند. یونهای OH<sup>-</sup> در اثر جذب مقادیر ناچیزی از رطوبت بر روی سطح لوله بوجود می‌آید.

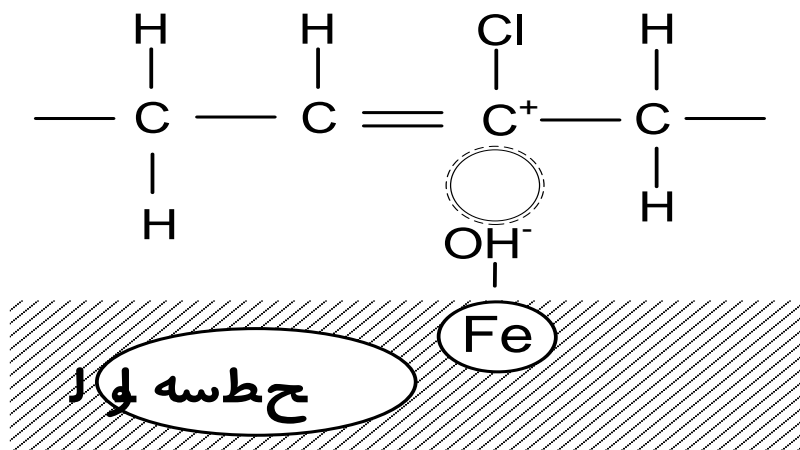


شکل ۵- فرآیند و مکانیسم چسبندگی چسب بوتیل را بر سطح لوله

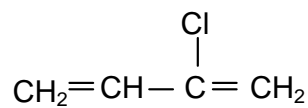


شکل ۶- نحوه چسبندگی مولکولهای قطبی بر سطح قطبی شده لوله

بدیهی است هر چه تعداد گروههای قطبی در مولکولهای زنجیره‌ای چسب بیشتر باشد، چسب از قدرت چسبندگی بالاتر و بهتری خواهد بود. نحوه و مکانیسم چسبندگی ماده کلروپرون که ماده اصلی پرایمرهای قیری و در پوشش‌های گرم استفاده می‌شود را به سطح لوله در شکل زیر نشان می‌دهد.



شکل ۷- مکانیسم چسبندگی کلروپرون که ماده اصلی چسب پرایمرهای قیری است به سطح لوله



\* پلی کلروپرن از کلروپرن بدست می‌آید.

### – دلیل کاربرد پلی کلروپرن در پوششهای گرم:

پلی کلروپرن پس از خشک شدن کریستالیزه می‌شود و می‌تواند با حرارت مجدداً فعال شود. یعنی بعد از بین رفتن حالت کریستالیزه، چسبندگی اولیه آن دو مرتبه فعال می‌گردد. پرایمر با چسب کلروپرن که در عایقهای گرم کاربرد دارد، در اثر مرور



زمان در اثر پلیمریزاسیون سخت می‌شود. بنابراین برای جلوگیری از سخت شدن به آن مواد ثابت کننده اضافه می‌شود که برای مدت کمی می‌تواند مؤثر باشد.

## ۲- نیروی القایی:

با نزدیک شدن Dipole ها یا ترکیبات قطبی به ترکیبات غیرقطبی که گرایش قطبی شدن را دارند ، در آن ترکیبات حالت قطبی بوجود آمده و چسبندگی ایجاد می‌گردد.

در چسبندگی به سطح لوله نیروهای القایی نقش مهمی دارند زیرا سطح لوله معمولاً غیر قطبی بوده و در اثر ترکیبات قطبی (Dipole) در آنها حالت قطبی ایجاد می‌شود.

## ۳- نیروی نفوذ مولکولی:

این نیرو که در اثر نفوذ الکترون‌ها مدار خارجی مولکول‌ها به داخل نقاط آزاد و خالی مولکول‌های دیگر بوجود آمده ، باعث گره خوردگی مولکول‌های مختلف به یکدیگر می‌شود و لذا چسبندگی ترکیبات غیر قطبی نقش مهمی دارند.

بطوریکه میدانیم در نوارهای عایقی بکار رفته در عایقکاری لوله‌ها ، لازم است نوار دارای لایه چسبی نیز باشد تا بتواند با پرایمر در روی سطح لوله ایجاد چسبندگی نماید.

## -لایه محافظ نوار سرد پلاستیکی:

### ۱- نوع PVC:

PVC یا پلی ونیل کلراید دارای کربن قطبی است و ایجاد چسبندگی در آن از نظر صنعتی کار مشکلی نیست.

لایه چسب‌هایی مانند بوتیل رابرو یا ترکیبات BITUMEN می‌تواند بسادگی به حالت چسبنده‌ای بر روی لایه PVC بوجود آید. ذوب کردن لایه چسب و تماس آن با لایه PVC یکی از راههای نسبتاً ساده‌ای در چسباندن دو لایه به یکدیگر می‌باشد .

## ۲- نوع پلی اتیلن:

در این حالت چون مولکول پلی اتیلن غیر قطبی است ( $\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-}$ ) و دارای سطحی کاملاً صاف است چسبندگی در آن بسادگی اتفاق نمی‌افتد.

سازندگان برای تولید این نوع نوارها از روشهای مختلفی استفاده می‌کنند. به لحاظ فنی از یکی از روشهای ذیل در چسبندگی کردن لایه پلی اتیلن استفاده می‌شود.

۲-۱- گرم کردن لایه پلی اتیلن تا نزدیکی درجه ذوب آن (حدود ۱۳۰ درجه سانتیگراد)

۲-۲- زبر کردن سطح لایه پلی اتیلن

۲-۳- شوک الکتریکی

۲-۴- آغش مواد قابل جذب مانند پلی ونیل استات به پلی اتیلن و سپس چسباندن لایه چسب مورد نظر.

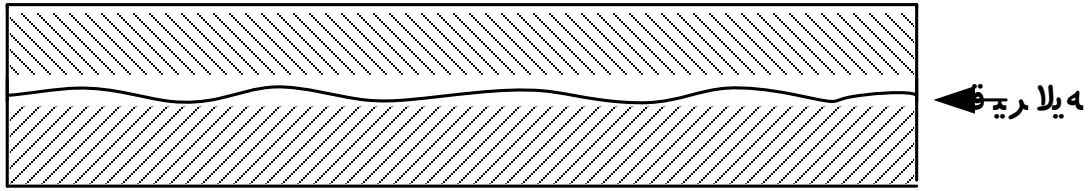
یکی از موارد مهم در ایجاد چسبندگی، همخوانی شیمیایی است بدین صورت که ترکیب چسب و ترکیب جسم چسبنده باید هر دو دارای مولکولهای قطبی یا هر دو دارای مولکولهای غیرقطبی باشند.

## مکانیسم چسبندگی پوشش‌های گرم (قیری):

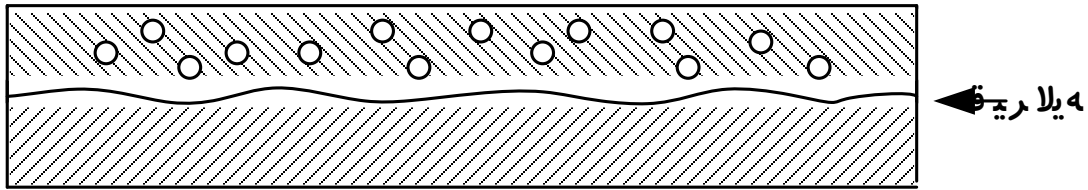
قیر ذغال سنگی مانند پلی اتیلن غیر قطبی است و چسبندگی آن به نحو خاصی بوجود می‌آید. بر اثر تجربه چنانچه قیر ذغال سنگی با با دمای درست پخت و آماده مصرف شود، بدون اعمال پرایمر از یک چسبندگی نسبی به سطح لوله می‌تواند برخوردار باشد، که البته کافی و مطلوب نیست .

سطح لوله به علت دارا بودن قدرت جاذبه سطحی، مقداری از رطوبت و گازهای تشکیل دهنده هوا را به خود جذب می‌کند که به این پدیده فیزیکی Absorbtion یا جذب سطحی نیز گفته می‌شود. پس از ریزش قیر مذاب بر روی سطح لوله و در اثر تماس با سطح گازهای جذب شده در سطح منبسط شده و به داخل قیر نفوذ کرده و قیر به آسانی جای آنها را در داخل خلل و فرج و سطح ناهموار لوله می‌گیرد و بدین وسیله چسبندگی بوجود می‌آید و سپس با سرد شدن قیر، نیروهای غیرقطبی و مولکولی در شکل گیری چسبندگی اثر می‌گذارد. لیکن اگر سطح لوله سرد باشد، سرعت حل شدن و نفوذ گازهای جذب شده در سطح لوله و در داخل قیر به علت بسته و سفت شدن سریع قیر، کم بوده و باعث میشود مقداری از گازها در سطح باقی بماند و قیر نیز مستقیماً در بعضی از قسمت‌ها به سطح لوله اصلاً واکنش چسبندگی از خود نشان ندهد .

مقایسه هر دو حالت در شکل‌های ذیل دیده می‌شود.



ل کائنه - ح طسه لول درسه



ل کائنه - ح طسه لول مرگ

#### — کاربرد قیر ذغال سنگی با پرایمر کلروپرن:

به دلیل اینکه در روش‌های سنتی و بدون ابزار و تجهیزات نمی‌توان کل سطح لوله را بطور یکنواخت حرارت و گرم کرد، بنابراین مشابه عایقکاری سرد می‌بایست از پرایمر استفاده شود.

پرایمر بکار رفته در قیر ذغال سنگی از نوع پلی کلروپرن است. پرایمر مزبور پس از خشک شدن دارای مواد زود جوش و فرار است که این مواد در قیر مذاب حل شده و ایجاد خلاء می‌کند که در اثر فشار جوی و وزن، قیر به داخل زوایا و ناهمواری‌ها نفوذ کرده و پس از سرد شدن چسبندگی ایجاد می‌شود.

چنانچه لوله‌های پرایمر خورده مواد فرار و زود جوش خود را در اثر پلیمریزاسیون که ناشی از بیرون ماندن طولانی مدت سطح لوله‌های پرایمر خورده در هوای آزاد از دست داده باشد، در صورت عدم بازسازی پرایمر قبلی، از نظر چسبندگی عایق لوله‌ها با مشکل روبرو می‌گردند.

#### — مقایسه چسبندگی قطبی و غیر قطبی:

ترکیبات قطبی، چسبندگی خود را دیرتر از دست می‌دهد اما در مقابل الکترو اسمز از قابلیت نفوذ بیشتری برخوردار می‌باشد و نفوذ آب و املاح بیشتر است. خواص ترکیبات غیر قطبی بر عکس خواص ترکیبات قطبی است.

## – آزمایش و اندازه‌گیری میزان چسبندگی مواد عایقکاری:

میزان چسبندگی مواد عایقکاری در طول عمر لوله‌های مدفون و در برابر جدایش کاتدی و کارایی و همچنین عملکرد سامانه حفاظت کاتدی خیلی اهمیت دارد.

معیارهای مندرج در استانداردها و نتایج حاصله از تجربیات بدست آمده ، در مورد کیفیت پوشش ، می تواند شاخص خوبی باشد. بنابراین اندازه گیری و ارزیابی مستمر میزان چسبندگی و قیاس نتایج با معیارهای پیشنهاد شده در استاندارد و دستورالعملها بسیار مؤثر است. از این رو استفاده از روشهای آزمایشگاهی و صحرایی جهت کنترل چسبندگی و سایر موارد مرتبط با کیفیت عایق در حین عملیات عایقکاری ، بایستی همیشه در دستور کار قرار داشته باشد .

## – آزمایش چسبندگی قیر ذغال سنگی و قیر پایه نفتی:

بر اساس روش مندرج در استاندارد و EN10300 AWWA-C203 و دستورالعمل کارخانجات تولید قیرهای مذکور می‌بایست آزمایشات چسبندگی بصورت آزمایشگاهی بر روی پلیت و به روش میدانی بر روی لوله انجام و نتایج آن ثبت گردد. مقدار نفوذپذیری قیرها در دمای تست‌های میدانی بسیار حائز اهمیت است. بنابراین رعایت دقیق شرایط آزمایش که در استاندارد به آنها اشاره شده چه به صورت آزمایشگاهی و چه به روش میدانی بعنوان یک شاخص مهم ، الزامی است.

### ۱- روشهای آزمایشگاهی چسبندگی پوششهای سرد دو لایه پلاستیکی و پلی اتیلن سه لایه:

به یکی از روشهای زیر ، کیفیت چسبندگی عایقهای پلی اتیلن دو لایه و سه لایه در آزمایشگاه و یا بصورت میدانی می تواند آزمایش و کنترل شود.

#### ۱-۱-۱- آزمایش چسبندگی به روش استاندارد ASTM-D1000:

۱-۱-۱-۱- آزمایش چسبندگی به روش فوق و در آزمایشگاه بر روی پلیت انجام می‌شود.

۱-۱-۲- آزمایش چسبندگی به روش فوق و بصورت آزمایشگاهی با زاویه کشش ۱۸۰ درجه انجام می‌شود.

۱-۱-۳- در آزمایشگاه زمان تست چسبندگی بعد از پرایمر زدن پلیت و نوار پیچی آن ، ۲۰ دقیقه می باشد.

۱-۱-۴- آزمایش چسبندگی با سرعت ۳۰۰ میلیمتر در دقیقه انجام می‌شود.

۱-۱-۵- دمای آزمایش یا دمای اتاق، ( $23 \pm 2$  درجه سانتیگراد) رعایت شود.

### ۱-۲- آزمایش چسبندگی آزمایشگاهی بر روی لوله به روش استاندارد DIN30672:

۱-۲-۱- زمان انجام آزمایش بعد از یکپهفته که از عایق شدن لوله می گذرد انجام می شود.

۱-۲-۲- آزمایش در دمای اتاق  $23 \pm 2$  درجه سانتیگراد انجام می شود.

۱-۲-۳- سرعت نیرو سنج در روش استاندارد DIN30672، ۱۰۰ میلی متر در دقیقه می باشد.

۱-۲-۴- آزمایش بر روی لوله ۴ اینچ و با زاویه ۹۰ درجه انجام می شود.



### ۱-۳- آزمایش چسبندگی به روش EN12068:

۱-۳-۱- بجز سرعت حرکت نیروسنج در هنگام تست چسبندگی که ۱۰ میلیمتر در دقیقه است، مابقیه شرایط برای انجام تست

مانند روش DIN30672 می باشد.

\* معیار قبولی میزان نیروی چسبندگی طبق استانداردهای IGS-M-TP-014-4 و IGS-M-TP-014-5 و IGS-M-TP-010

که برای عایقهای نوار سرد پلاستیکی دو لایه با لایه چسب بوتیل را بر و لایه چسب بیتومن و پوشش پلی اتیلن سه لایه، در نظر گرفته شده است باید تعیین شود.

\* میزان چسبندگی به روش ASTM-D1000 به علت سرعت حرکت نیروسنج که برای کندن نوار معمولاً نیروهای کششی بایست نیروهای مخالف (چسبندگی) را به یکباره برطرف نماید، معمولاً دو برابر میزان چسبندگی است که با روشهای EN12068 و DIN30672 بدست می آید.

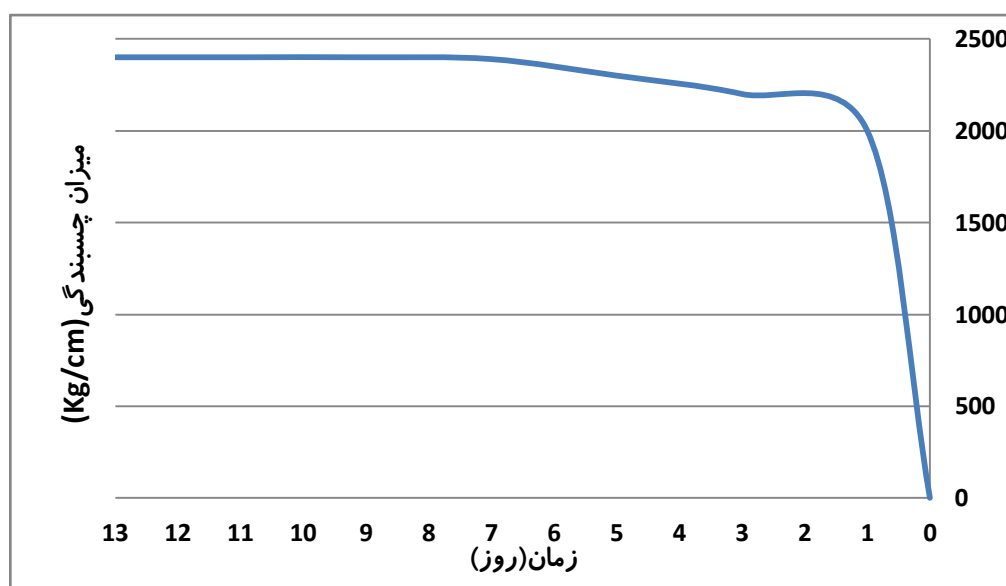
\* در هر سه روش استاندارد ASTM-D1000 و DIN30672 و EN12068، آزمایش چسبندگی به روش صحرائی، بر روی لوله و با زاویه ۹۰ درجه انجام می شود.

#### – عوامل مؤثر در ایجاد چسبندگی:

این عوامل می تواند شامل شاخصهای زیر باشد که هر کدام از آنها در به وجود آمدن چسبندگی پوشش به سطح لوله ها نقش دارند:

##### ۱- عامل زمان

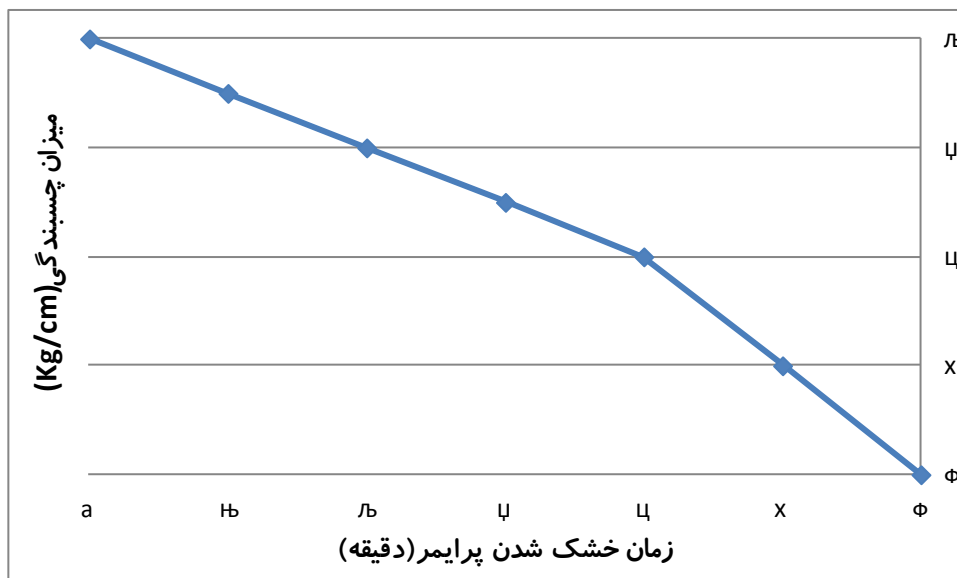
با مرور زمان چسبندگی در اثر تبخیر و جذب شدن حلالهای چسب پرایمر در میان لایه های چسب نوار، میزان چسبندگی افزایش و سپس ثابت می ماند.



شکل ۱۱- منحنی روند افزایش و ثابت ماندن چسبندگی بر اساس زمان بعد از عایقکاری

## ۲- عامل زمان خشک شدن پرایمر قبل از عایقکاری:

میزان خشک بودن پرایمر در زمان عایقکاری لوله ها برای نوارهای مختلف ، می تواند منتج به نتایج بهتر و گاهاً متفاوت شود.



شکل ۱۲- منحنی روند چسبندگی بر اساس مثبت بودن اثر خشک بودن پرایمر

\* چیزی که در این خصوص خیلی مهم و حائز اهمیت است، رعایت رابطه خشک شدن پرایمر با زمان دقیق نوارپیچی است که این مسئله در پرایمرهای Touch Dry نسبت به نوع Fast Dry اهمیت بیشتری دارد.

## ۳- عامل ضخامت لایه پرایمر:

۳-۱- رعایت حداقل ضخامت فیلم پرایمر که در استانداردها بر اساس نوع پوشش تعیین شده است به همراه اعمالی یکنواخت و کاملاً عاری از عیب در کیفیت چسبندگی مهم می باشد .

۳-۲- ضخامت زیاد پرایمر (بیش از حداکثر مقدار تعیین شده در استاندارد)، اثر منفی در چسبندگی می گذرد.

## ۴- عامل تمیزی و زیرسازی سطح لوله‌ها:

۴-۱- حداقل درجه تمیزی سطح لوله طبق استاندارد ISO 8501 که  $(sa2\frac{1}{2})$  در نظر گرفته شده ، باعث بهبود کیفیت میزان چسبندگی می شود.

## ۵- عامل درجه حرارت محیط در هنگام آزمایش چسبندگی:

۱-۵- رعایت درجه حرارت محیط تعیین شده در استاندارد برای تست چسبندگی بسیار مهم است.

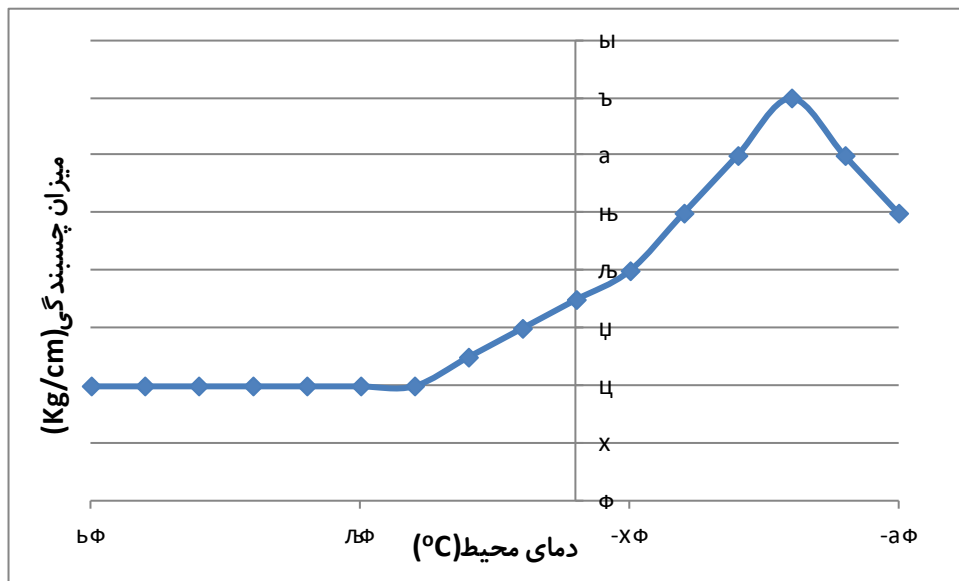
۲-۵- با بالا رفتن درجه حرارت از حد مجاز تعیین شده در استاندارد، چسبندگی نزول می‌یابد.

۳-۵- آزمایش چسبندگی در خارج از محدوده ای که درجه حرارت آن در استانداردها تعیین گردیده به علت اینکه در روند

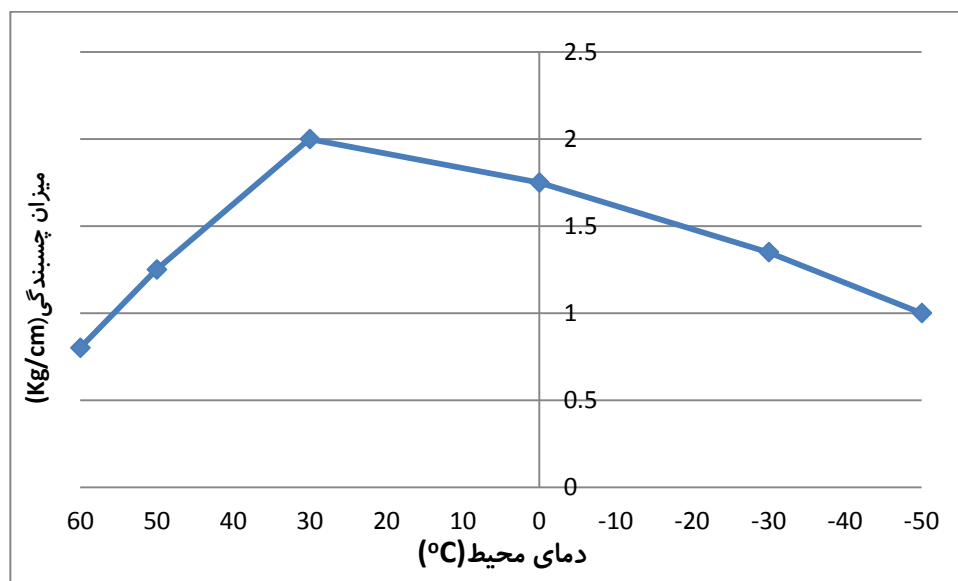
حرکتی نیروی چسبندگی تأثیر منفی می‌گذارد، انجام تست صحیح نمی‌باشد.

۴-۵- درجه حرارت در محیط در زمان عایقکاری طبق منحنی زیر، در اثر ازدیاد درجه حرارت محیط تا ۶۰ درجه سانتیگراد،

بعنوان عامل زمان می‌تواند تسریع بعمل آورد.



شکل ۱۳- منحنی تأثیر درجه حرارت محیط در میزان چسبندگی



شکل ۱۴- منحنی تسریع چسبندگی تا دمای ۶۰ درجه



## ۶- عامل نیروی کشش نوار پیچی:

در عایقکاری، نیروی کشش نوار بصورت دستی، نیمه اتوماتیک و یا تمام اتوماتیک می تواند در میزان چسبندگی نقش مهمی داشته باشد. با توجه به مسائل فوق، روشن است که به علت وجود عوامل مختلف در موقع عایقکاری به جهت اینکه شرایط صحرائی با شرایط آزمایشگاهی همخوانی بطور کامل وجود ندارد، از این رو نتایج بدست آمده چسبندگی تحت شرایط واقعی کاربردی در قیاس با نتایج آزمایشگاهی متفاوت بوده و معمولاً در روش میدانی از میزان چسبندگی کمتری برخوردار است.

### – چگونه و به چه صورت در آزمایشات چسبندگی، نوارهای پلاستیکی از روی لوله جدا و کنده می شود؟:

خواص فیزیکی پرایمر و نوارها و اختلاف بین نیروهای چسبندگی و چسبندگی درونی و چسبندگی به لایه پلاستیکی باعث می شود تا نوارها به حالت و شکلهای مختلفی از روی سطح لوله جدا و کنده شوند.

### ۱- کنده شدن نوار بصورت ADHESIVE TYPE:

در این حالت نیروی COHESIVE یا چسبندگی درونی بیش از چسبندگی به سطح لوله بوده و از این رو پرایمر و لایه چسب و لایه محافظ نوار با هم از روی لوله کنده می شود. این حالت چسبندگی به یکی از دلایل زیر مورد قبول نمی باشد.

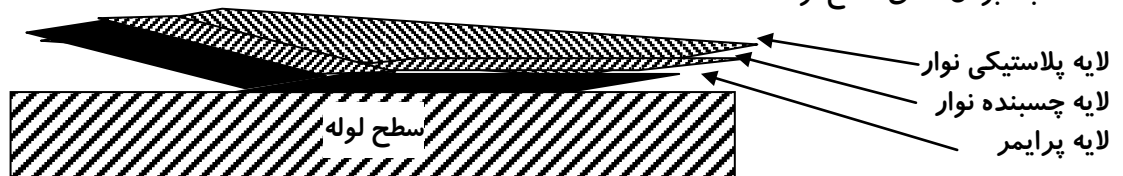
۱-۱- کثیف بودن سطح لوله

۱-۲- مربوط بودن سطح لوله در زمان عایقکاری

۱-۳- فاسد بودن مواد عایقی

۱-۴- آلوده بودن سطح لوله یا سطح پرایمر خورده به چربی

۱-۵- بالا بودن دمای سطح لوله



شکل ۱۵- کنده شدن چسب نوار از روی سطح پرایمر و سطح لوله

### ۲- کنده شدن نوار بصورت ADHESIVE TYPE:

در این حالت نیز نیروی COHESIVE یا چسبندگی درونی بیش از چسبندگی نوار بسطح لوله بوده و لایه پرایمر بر روی سطح در این حالت باقیمانده، اما لایه محافظ نوار و لایه چسب نوار از روی سطح لوله کنده می‌شود.

علی‌رغم دلخواه نبودن حالت چسبندگی، چنانچه در این حالت چسبندگی به حد نصابی که در استاندارد تعیین نموده رسیده باشد، می‌تواند قابل قبول تلقی شود.

عواملی که در بروز حالت فوق می‌تواند دخالت و تأثیر گذار باشد عبارتند از:

۲-۱- کاربرد پرایمر نامناسب

۲-۲- حرارت پائین محیط در موقع نوارپیچی

۲-۳- عدم رعایت فاصله لازم زمانی بین نوار پیچی با آزمایش چسبندگی

۲-۴- قبل از نوار پیچی، پرایمر به اندازه لازم خشک نشده باشد

۲-۵- کافی نبودن نیروی کشش نوار



### ۳- کنده یا جدا شدن نوار بصورت ADHESIVE TYPE:

در این حالت مقدار چسبندگی پرایمر و لایه چسب نوار به سطح لوله بیشتر از چسبندگی درونی نوار یا COHESIVE بوده (منظور چسبندگی بین لایه چسب به لایه محافظ نوار) و از این رو در موقع کنده شدن پوشش، قسمتی از چسب نوار بر روی لوله باقی می‌ماند و کل لایه چسب از روی سطح لوله و سطح پرایمر جدا نمی‌شود.

البته این حالت چسبندگی نسبت به وضعیت چسبندگی حالت قبلی از اطمینان بهتری برخوردار است.

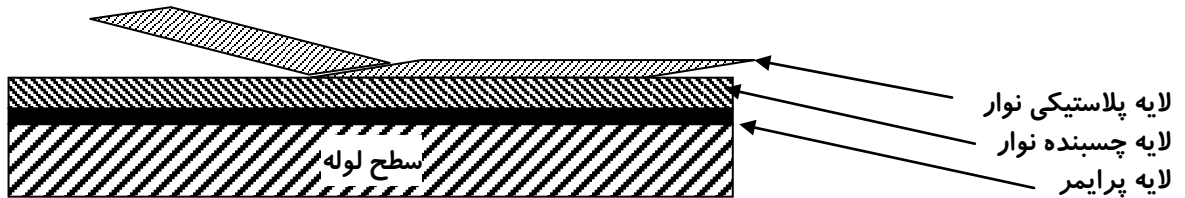


شکل ۱۷- جدا شدن قسمتی از لایه چسب نوار با لایه محافظ از روی سطح لوله پرایمر خورده

و باقیماندن مقداری از لایه چسب نوار بر روی لوله

#### ۴- کنده یا جدا شدن لایه پلاستیکی نوار از سطح لوله:

در این حالت چسبندگی بین لایه چسب و لایه پلاستیکی نوار ضعیف بوده بطوریکه لایه چسب بر روی لوله باقیمانده و لایه پلاستیکی جدا می‌شود. در این حالت اگر میزان چسبندگی به حد معیار تعیین شده در استاندارد رسیده باشد، کیفیت چسبندگی می‌تواند مورد تأیید قرار گیرد.

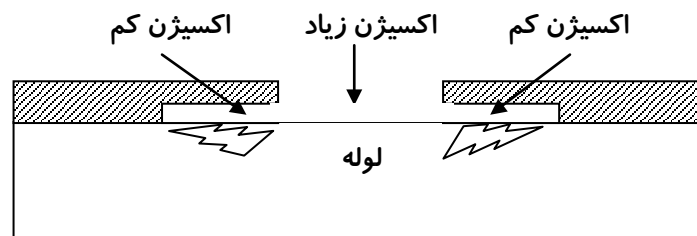


شکل ۱۷- جدا شدن لایه محافظ از لایه چسب خود نوار و باقیماندن لایه چسب نوار بر روی سطح پرایمر خورده

#### - عدم چسبندگی عایق و عوارض ناشی از آن در لوله‌های فولادی:

واضح و مبرهن است که یکی از دلایل مهم زنگ زدن لوله‌های عایق شده، ضعف شدید یا عدم چسبندگی پوشش است. مسئله عدم چسبندگی عایق لوله‌ها در رابطه با زنگ زدگی و حفاظت کاتدی، ممکن است حالت‌های زیر را بدنبال داشته باشد.

۱- حالتی که در عایق عدم چسبندگی موضعی اتفاق افتاده باشد و در آن ناحیه منافذ و آسیب‌های مکانیکی اتفاق افتاده باشد، در مقابل منافذ و آسیب‌های بوجود آمده در عایق اکسیژن زیاد بوده و در مجاورت منافذ و آسیب‌ها اکسیژن کمتر که در نتیجه، سل الکتروشیمیایی از نوع دمشی و یا شکافی تشکیل می‌گردد و باعث می‌شود تا قسمتهایی از لوله خورده شود و قسمتی که مقدار اکسیژن در آن بیشتر است کاتد و خورده نمی‌شود.



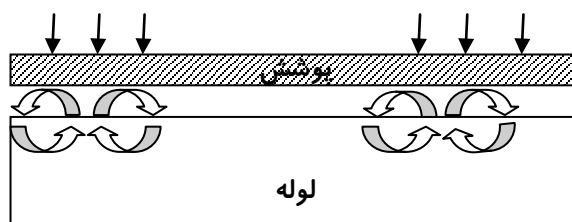
شکل ۱۸- خورده شدن لوله در ناحیه با اکسیژن کم

#### - نقش حفاظت کاتدی در مناطقی که پوشش دچار مشکل چسبندگی شده:

با اعمال سامانه حفاظت کاتدی امکان حفاظت و جلوگیری از زنگ زدن لوله در ناحیه ای که عدم و ضعف چسبندگی پوشش به سطح لوله اتفاق افتاده، وجود دارد.

بنابر این برای حفاظت لوله در چنین حالتی، به جریان بیشتری نیاز می باشد.

۲- حالتی که پوشش دچار عدم چسبندگی کامل شده باشد اما منافذ و خرابی در منطقه عدم چسبندگی عایق ایجاد نشده باشد:

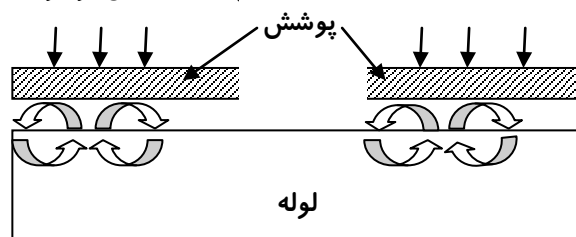


شکل ۱۹- جدایش کامل پوشش از روی سطح لوله بدون وجود منافذ و آسیب در عایق

در این حالت رطوبت و عوامل خوردنده و اکسیژن که بداخل عایق نفوذ می کند باعث می شود تا سل های الکتروشیمیایی موضعی بوجود آید که باعث زنگ زدگی می شود. به علت کم بودن میزان اکسیژن، زنگ زدن لوله به کندی و به صورت موضعی تشکیل می شود.

البته به علت پدیده بوجود آمدن سپر یا مانع الکتریکی (Shielding)، در چنین حالتی حفاظت کاتدی نمی تواند نقش مؤثری ایفا نماید و به نوعی اندازه گیری پتانسیل لوله به خاک در چنین مناطقی چندان قابل اطمینان بخش نیست.

۳- حالتی که پوشش دچار عدم چسبندگی کامل شده باشد و منافذ و خرابی نیز در عایق بوجود آمده باشد:



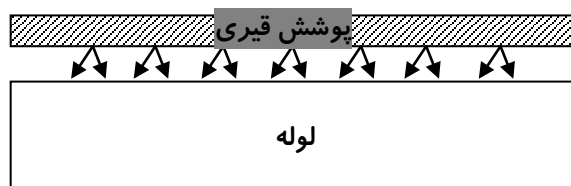
شکل ۲۰- عدم چسبندگی کامل عایق و وجود منافذ و خرابی در عایق

در این حالت زنگ زدگی و تشکیل سل های الکتروشیمیایی موضعی در زیر پوشش تشکیل می گردد.

در مورد کارآیی سامانه حفاظت کاتدی و تلاش برای جلوگیری از تشکیل کانونهای خوردگی در زیر عایق، اخیراً حسب بررسی های متعدد آزمایشگاهی انجام شده، نشان می دهد که امکان حفاظت لوله ها در چنین شرایط توسط سامانه های حفاظت کاتدی تا حد زیادی وجود دارد.

البته وجود عواملی که باعث قطع پلاریزاسیون می شود مانند باکتری های زیر زمینی و مواد شیمیایی دیگر و همچنین اکسیدهای آهن ایجاد شده بر روی سطح لوله، کارآیی عملکرد حفاظت کاتدی را دچار اشکال می کند و از این رو توزیع پتانسیل کاتدی را برای کل لوله دفنی با مشکل روبرو می سازد .

۴- حالتی که پوشش دچار عدم چسبندگی کامل شده باشد اما بعلت وجود خلل و فرج در عایق (عایقهای قیری) ، رطوبت و آب موجود در اطراف لوله به زیر پوشش قابل نفوذ است.



شکل ۲۱- عدم چسبندگی کامل پوشش و وجود خلل و فرج یا منافذ در پوشش قیری

در چنین حالت شدت زنگ زدن لوله به میزان خوردندگی و اسیدی و PH آب نفوذ کرده به زیر عایق و زمان نفوذ دارد. در این وضعیت کارایی سامانه حفاظت کاتدی بالا و می تواند به زیر پوشش نفوذ کند و لوله را حفاظت نماید. جهت کارآیی سامانه کاتدی در چنین حالت، لازم است الکتروولیت نفوذ کرده به زیر پوشش به اندازه کافی هادی الکترونیسته باشد.

\* مقدار PH آب نفوذ کرده به زیر عایق و مدت زمانی که از حبس شدن آب و رطوبت در زیر عایق می گذرد ، ضخامت عایق، مقاومت ویژه خاک ، نوع پوشش و وضعیت مقاومت الکتریکی عایق به اختصار (RCS) از فاکتورهای مهم و تأثیرگذار در روند زنگ زدن و خوردگی در زیر پوششهای کاملاً جدا شده به حساب می آید. علت اصلی خورده شدن لوله ها ئیکه عایق آنها جدا شده است ، مسئله بوجود آمدن سپر الکتریکی یا پدیده Cathodic Shielding در لوله ها است.

این پدیده در پوششهای از خانواده پلی اولفین مانند پلی اتیلن و پلی پروپیلن، در صورت نفوذ الکتروولیت به زیر عایق ، جریان حفاظت کاتدی تنها قادر است تا چند سانتیمتر ادامه و فعال باشد . اما در عایقهای قیری به جهت وجود خلل و فرج در قیرها، جریان حفاظت کاتدی قادر است طول بیشتری از لوله را حفاظت نماید.

\* پدیده خوردگی در زیر عایقهای کاملاً جدا و کنده شده از روی سطح لوله ، امری اجتناب ناپذیر است. بنابراین نقش چسبندگی عایق لوله های مدفون در توزیع جریان حفاظت کاتدی و حفاظت شدن لوله ها از خورده شدن بسیار مهم و حائز اهمیت است. از این رو انتخاب پوشش هاییکه بتواند لوله را در صورت بروز پدیده سپر کاتدی یا شیلدینگ حفاظت کند بسیار مهم می باشد .

### بیژن پوراعظمی

امور بازرسی و کنترل فنی ستاد