

welkom bij de Theorie van Corrosie



Inhoudsopgave

1. Inleiding
2. Soorten Corrosie
3. Gevolgen van corrosie voor de samenleving
4. Corrosieverschijningsvormen
5. Corrosie Controle, Detectie, Inspectie en Monitoren
6. Corrosie Preventie
7. Corrosie onder Isolatie



1. Inleiding

Corrosie is bij de meeste mensen bekend onder de naam roest. In de volksmond spreekt men van ijzer, waarmee men doelt op staal, een van de materialen die “last” heeft van roest als en het niet is geschilderd. Tientallen jaren geleden werd het synoniem “roestbak” nog wel gebezigd om te verwijzen naar bepaalde automerken. Vandaag de dag is dat een term die je niet veel meer hoort ook al vanwege de vele verbeteringen die zijn doorgevoerd om auto's beter te beschermen tegen corrosie. Later in deze cursus worden beschermingstechnieken besproken.

Allereerst gaan we kijken naar wat corrosie nu precies is en waarom sommige materialen onderhevig zijn aan corrosie en ander materialen weer minder of in het geheel niet.

Corrosie kunnen we omschrijven als zijnde een aantasting van een materiaal door een chemische of elektrochemische reactie met de omgeving. Het materiaal wordt aangevallen door elementen in de omgeving. Deze aantasting heeft tot gevolg dat de eigenschappen van het materiaal achteruitgaan, simpel gezegd het materiaal loopt schade op. Deze schade kan van invloed zijn op onder andere de mechanische eigenschappen zoals bijvoorbeeld de sterkte van een materiaal. Het kan ook op het zogenaamde esthetische vlak zijn, dus het uiterlijk van het materiaal verandert in negatieve zin. Het roesten van koper, kan daarentegen een esthetisch kwaliteit zijn die als mooi wordt ervaren. Denk maar aan het groene koperoxide op sommige kerktorens en het Vrijheidsbeeld in New York,

Vrijheidsbeeld in New York



Het functioneren van een onderdeel, een installatie of een constructie kan worden beïnvloed. Hierbij zou je als voorbeeld kunnen denken aan lekkages in leidingsystemen of nog erger, het falen van remsysteem of een (kern)reactor.

Definitie van corrosie

“Corrosie is een ongewenste aantasting van een materiaal ten gevolge van chemische of elektrochemische reacties met componenten uit de omgeving”.

2. Soorten Corrosie

Corrosie is een fysisch-chemische interactie tussen een metaal en zijn omgeving, waarbij de eigenschappen en de functionaliteiten van het metaal veranderen. De omgeving of het technisch systeem waarvan het metaal deel uitmaakt kan daardoor worden aangetast. Technisch gezien is er enkel sprake van corrosie wanneer er zich in de eigenschappen van het metaal of het systeem een verandering voordoet die tot ongewenste gevolgen kan leiden. Dat kan gaan van gewone visuele aantasting tot de volledige uitval van technische systemen, met grote economische schade en gevaar voor personen tot gevolg.

Voor de metalen die het meest aangewend worden in de techniek, zoals koolstofstaal, roestvrij staal, zink, koper en aluminium, kunnen we het typische corrosieproces beschouwen als de thermodynamisch bevorderde omgekeerde reactie van het metaalwinningsproces.

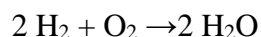
Soorten corrosiereacties

Zoals alle chemische reacties, vindt corrosie plaats wanneer de omstandigheden gunstig zijn voor de overeenkomstige chemische reacties. Waarbij andere factoren de reacties kunnen versnellen. Er wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende soorten corrosie naargelang de interactie tussen het metaal en de omgeving.

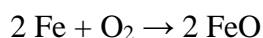
Chemische reacties.

Tussen elementen en verbindingen kunnen allerlei reacties optreden, waarbij nieuwe verbindingen kunnen ontstaan. Een typische chemische reactie doet zich voor bij hoge temperaturen, wanneer het metaal reageert op hete gassen en een oxide laag vormt.

Een voorbeeld van een chemische reactie is de reactie van zuurstof met waterstof waarbij water wordt gevormd water:



Uit de reactie ijzer met zuurstof, ijzeroxide (roest) gevormd:



Als zuurstof reageert met een metaal dan ontstaat een oxide. Er zijn echter metalen die niet met zuurstof reageren. Dit zijn de zogenaamde edelmetalen: goud, platina en zilver. Waarbij opgemerkt moet worden dat zilver onder bepaalde omstandigheden wel kan oxideren, terwijl goud en platina onder vrijwel alle omstandigheden corrosie stabiel zijn. Het zijn de onedele metalen die met zuurstof reageren. Hoe onedeler het metaal is, des te sneller de reactie met zuurstof. Er zijn metalen die reageren met zuurstof, maar waarbij een ondoordringbaar laagje oxide ontstaat, wat dan het onderliggende metaal tegen verdere oxidatie beschermt. Aluminium en Roestvast Staal zijn voorbeelden van metalen met een beschermend oxide laagje.

Het bovenstaande voorbeeld van de chemische reactie van ijzer is slechts een van de chemische reacties die zich kunnen voordoen bij het corrosie proces. Er zijn verschillende typen corrosie, waarbij verschillende chemische reacties kunnen plaatsvinden. In het bovenstaande voorbeeld zou dat zuurstof kunnen zijn geleverd door waterdamp in de atmosfeer.

Metaalfysische reactie

Een voorbeeld hiervan is metaal dat bros wordt en kan breken wanneer er zich waterstof in verspreidt. Die verbrossing kan het gevolg zijn van een onzorgvuldig productieproces, bv. wanneer oppervlaktecoatings zoals elektrochemische verzinking niet correct worden toegepast op producten van hogesterktestaal. Het proces kan ook in gang gezet worden door corrosie (oplossing van het metaal). Voor het tweede geval verwijzen we naar scheurvorming ten gevolge van corrosie veroorzaakt door waterstof.

Elektrochemische reactie (meest voorkomende soort corrosie)

De meest gebruikelijke corrosiereactie is de elektrochemische reactie in de natuur. Dergelijke reacties bestaan uit een elektrische uitwisseling door middel van elektronen in het metaal en ionen in een geleidende elektrolyt, zoals een waterfilm op het oppervlak.

Beide deelreacties kunnen redelijk homogeen verdeeld zijn op het metaaloppervlak met een gelijkmatige aantasting tot gevolg of kunnen plaatselijk en gescheiden plaatsvinden. In het laatste geval krijgen we plaatselijke vormen van corrosie, zoals putcorrosie.

Het mechanisme en de elektrochemische aard van de corrosiereactie bepalen de voorwaarden opdat er corrosie plaatsvindt:

- een geleidend metaal
- een elektrolyt (een dunne laag vocht op het oppervlak volstaat)
- zuurstof voor de kathodereactie

Zowel de oplossing van het metaal als de zuurstofreductie vinden licht gescheiden van het oppervlak plaats. De producten van beide reacties (Fe-ionen en OH-ionen) vormen samen rode roest in de druppel. Hetzelfde principe geldt voor andere metalen zoals zink of aluminium, maar met iets andere chemische reacties in de elektrolyt.

Bij elektrochemische corrosie, die in de meeste gevallen verloopt bij omgevingstemperatuur, speelt water een rol. Daarom spreekt men ook van 'natte corrosie'. Dit zijn als regel de corrosievormen, die men bedoelt, als men het zonder meer over 'corrosie' heeft. Elektrochemische corrosie speelt zich als regel in een aantal fasen af, waarvan alleen de eerste fase, het primaire corrosieverschijnsel, elektrochemisch verloopt. De daarna volgende processen, de secundaire corrosieprocessen, zijn meestal zuiver chemische of fysische processen.

De meeste metalen worden in de natuur gevonden als een erts. Via een proces zoals het hoogovenproces wordt uit het ijzererts het ijzeroxide omgezet naar ijzer. Bij corrosie probeert het ijzer terug te keren naar de toestand zoals het in de natuur is gevonden, ijzeroxide dus.

Dit terugkeren naar hun oorspronkelijke staat geldt voor de meeste metalen die in die in de natuur gevonden worden.

Corrosie is een fysisch-chemische interactie tussen een metaal en zijn omgeving, waarbij de eigenschappen van het metaal veranderen en de functionaliteit van het metaal, de omgeving of het technisch systeem waar zij deel van uitmaken, kan worden aangetast. Technisch gezien is er enkel sprake van corrosie wanneer er zich in de eigenschappen van het metaal of het systeem een verandering voordoet die tot ongewenste gevolgen kan leiden. Dat kan gaan van gewone visuele aantasting tot de volledige uitval van technische systemen, met grote economische schade en gevaar voor personen tot gevolg.

Voor de metalen die het meest aangewend worden in de techniek, zoals koolstofstaal, roestvrij staal, zink, koper en aluminium, kunnen we het typische corrosieproces beschouwen als de thermodynamisch bevorderde omgekeerde reactie van het metaalwinningsproces.

Bij elektrochemische corrosie gaat het om oxiderende stoffen. Voor ons is eigenlijk alleen zuurstof zelf van belang. De reactie van ijzer met zuurstof geeft het alom gehate roest. Nu heeft roest (ijzeroxide) een vervelende eigenschap, het is poreus, waardoor het oxideren doorgaat zolang er zuurstof voor handen is. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld aluminium; aluminiumoxide is zo dicht van structuur dat het onderliggende metaal juist wordt beschermd. Dit geldt ook voor roestvast staal en bijvoorbeeld chroom. Bij beschadiging van deze oxidehuid vormt zich direct weer een beschermde laag oxide. Helaas vormt dit oxide geen bescherming voor galvanische corrosie omdat dit als het ware van binnenuit gaat, dus ijzer op een aluminium schip moet geïsoleerd worden aangebracht.

Corrosie door bacteriën

Er zijn verschillende bacteriën die ijzer kunnen aantasten, meestal gaat dit onder zuurstofloze, rottende omstandigheden, maar soms kunnen bacteriën, opgepompt uit het grondwater, een schip infecteren en zelf een lokaal zuurstofloos milieu creëren op de huid. Vooral in met sulfaten vervuild water.

3. Gevolgen van corrosie voor de samenleving

Corrosie is een wijdverbreid fenomeen waarvan de aantasting van metalen de bekendste is en waar iedereen in meer of mindere mate wel al eens mee geconfronteerd is geweest. Hier beperken we ons tot corrosie waar het betreft de aantasting en verlies van metalen, maar ook andere non-metaal materialen worden aangetast. Onder andere kunststoffen en keramische materialen worden aangetast en gaan verloren in milieus waar metalen corroderen.

Behalve waar het een functie dient, in kunstwerken en als bescherming laag, is corrosie ongewenst. Veel corrosie ontsnapt aan onze aandacht omdat het niet zichtbaar is en juist deze niet-zichtbare corrosie is de meest gevaarlijke. Vaak ook nog eens degene die het meest wordt genegeerd als het aankomt op vervanging van beschermende systemen, zoals coating. De corrosie is dan onzichtbaar voor het oog en pas als het door de coating heen dringt wordt er ingegrepen. Tenminste als het in het normale zicht zit van de omgeving. Bijvoorbeeld bij gewapend beton, dus beton waarin wapeningsstaal zit verwerkt, daarin kan het staal corroderen zonder dat dit wordt opgemerkt. Met als uiterste consequentie dat de structuur het begeeft.

Corrosie heeft economische en sociale gevolgen, veelal gaan deze hand in hand. Denk daarbij aan de gevolgen van een explosie veroorzaakt door een het falen van een installatie als gevolg van corrosie. De explosie zal schade veroorzaken aan de installatie er kunnen gewonden en doden vallen. Het milieu kan schade ondervonden door het ontsnappen van een toxisch product en in het verlengde daarvan gevolgen voor de volksgezondheid.

De giframp in Bhopal uit 1984 is een voorbeeld van een ramp die een verwoestend effect heeft gehad op de mensen die in de nabijheid van de Union Carbide fabriek woonden. Velen stierven in hun bed, anderen wankelden uit hun huizen, verblind en verstikt, om op straat te sterven. Naar schatting 25 000 mensen stierven direct of binnen enkele uren of later als gevolg van schade aan longen, hart, hersenen en andere organen. Meer dan 100 000 mensen hielden er chronische medische problemen aan over.

De oorzaak van de ramp was een combinatie van factoren en omstandigheden. Niet op zichzelf staand, maar corrosie was één van de factoren die een rol speelde bij de ramp.

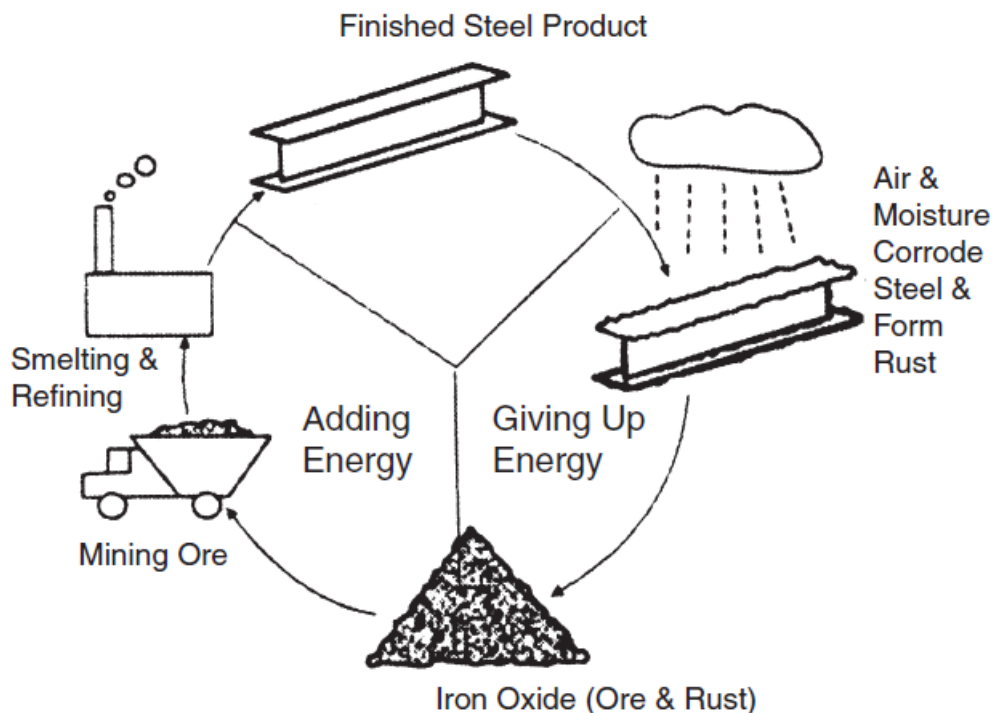
Helaas was de aanpak na de ramp ook vele jaren moest er nog begonnen worden met het opruimen en het reinigen van bodem en water. Decades na deze ramp worden er nog kinderen geboren met misvorming en zijn er nog duizenden mensen die als gevolg van de verontreinigingen in de leefomgeving chronische klachten hebben.



Een deel van de Bhopal pesticiden fabriek

Corrosie betekent verlies aan materiaal, dat uiteindelijk vervangen dient te worden. De grondstof zal opnieuw gewonnen dienden te worden. Het gevolg is vermindering van de natuurlijke bronnen, inclusief het metaalerts, maar ook het wederom aanspreken van de energiebronnen die men nodig heeft om weer tot het uiteindelijke product te komen. Uiteraard ook weer de arbeid nodig om tot een vervangend product te komen.

Materialen, zoals metalen hebben een levenscyclus, zoals in de onderstaande afbeelding weergegeven voor de levenscyclus van ijzer.



Het wordt gewonnen, het wordt omgezet en gevormd naar een bruikbaar product, waarna verloop van tijd het terugkeert naar zijn oorspronkelijke toestand, zijnde ijzeroxide. Een levenscyclus die vergelijkbaar is met vele materialen en producten. “Uit stof ontstaan en tot stof wedergekeerd”.

3.1 Direct en indirecte kosten van schade door corrosie

Schade door corrosie brengt kosten met zich mee, maar aan preventieve maatregelen zijn ook kosten verbonden. We zullen deze kosten gezamenlijk onder de noemer “directe kosten” plaatsen. Tevens zijn er de indirecte kosten, dus kosten die niet direct aan het specifieke “object” zijn verbonden, maar wel een kostenverlies post zijn als gevolg van corrosie.

Bij directe kosten kunnen we denken aan de volgende:

- Verlies van apparatuur en structuren.
- Vervanging van de gecorrodeerde apparaten, structuren en elektrische schakelapparatuur.

- Het sterker uitvoeren van apparatuur en structuren om te compenseren voor materiaalverlies door corrosie (Overdesign van objecten!).

Indirecte kosten zijn onder andere de volgende:

- Preventief onderhoud, coating e.d.
- Vervanging van opofferingselektroden
- Het bewaken van corrosie, dus inspecteren en monitoren.
- Corrosie inhibitoren die men toevoegt aan waterbehandelingssystemen.
- Het aanhouden van reserveonderdelen.
- Productieverliezen als gevolg van productiestop.
- Productverlies door lekkages.
- Elektriciteitslevering problemen en aanverwante productie- en productverliezen.
- Milieuschoonmaak.
- Schade aan de gezondheid van mens en dier.
- Verzekeringspremies.

3.2 Voorbeelden

Gewapende beton structuur

De belangrijkste factor die is geïdentificeerd voor de degradatie op lange termijn van structurele ondersteuning van gewapend beton is de corrosie van wapeningsstaal. Als gevolg van corrosie kan het wapeningsstaal een volumen van ongeveer 3 tot 8 keer het oorspronkelijke innemen. Deze toename van het volume genereert aanzienlijke expansieve krachten in de buurt van stalen wapening, wat uiteindelijk betonscheuren en spatten veroorzaakt. De aanwezigheid van corrosie vermindert de effectieve stalen doorsnede en vermindert de hechtsterkte met beton. De door corrosie veroorzaakte structurele verslechtering kan leiden tot een aanzienlijk verlies van bescherming tegen instorting en moet als een fatale worden beschouwd.

In juni 2021 stortte in Miami Florida een 12 verdieping tellend appartementencomplex in, met als gevolg een dodental van 98 mensen. Een van de medeorzaken was de corrosie van de wapening van de betonstructuur door het verwaarlozen van onderhoud en reparatie van de betonnen structuur.



Scheepvaart

Eind 1999 brak een enkel romp olietanker de Erika in tweeën voor de kust van Frankrijk. De volledige bemanning werd gered, maar de lading zware olie veroorzaakte een enorme milieuramp. De olievervuiling trof ongeveer 400 kilometer van de Frans kust. Ruim 40 000 zeevogels stierven als gevolg van de besmeuring met de olie. De schade aan het milieu was immens alsook de zeer hoge kosten van de schade aan de visserij en het toerisme.

Corrosie problemen waren al duidelijk in 1994. Er waren al meldingen en rapporten bekend bij havenautoriteiten, de US-kustwacht alsook. Veel van de problemen waren oppervlakkig aangepakt in plaats van ordentelijk gerepareerd. Zelfs een week voor de ramp was er ernstige corrosie gemeld. Bovendien wisselde de Erika in 1998 van certificatie organisatie, van Bureau Veritas naar Registro Italiano Navale. Welke haar vervolgens certificeerde om door te gaan ondanks een aanwijzing voor een volledige en grondige inspectie van Bureau Veritas!



Instorten van zwembaddak

In 1985 kwamen in Zwitserland 12 mensen om het leven toen het betonnen dak van een zwembad pas na dertien jaar gebruik instortte. Het dak werd ondersteund door roestvrijstalen staven in spanning, die faalden als gevolg van spanningscorrosie.

In 2002 stortte het verlaagde plafond van een gemeentelijk zwembad in Steenwijk Nederland in door een soortgelijke oorzaak. In Steenwijk vielen gelukkig geen doden of gewonden.

Er zijn andere incidenten geweest in verband met het gebruik van roestvrij staal in veiligheid kritische dragende toepassingen in binnenzwembaden en recreatiecentra. De instorting van dit plafond boven een zwembad liet zien hoe een eenvoudig constructief gevoelig kan voor corrosie en welke impact het potentieel kan hebben.



Luchtvaart

Een Aloha Boeing 737 vliegtuig verloor in 1988 tijdens de vlucht op 8 km hoogte een groot deel van de bovenste romp. Een deel van de romp werd letterlijk van het vliegtuig afgescheurd, waardoor een groot gat ontstond in de passagierscabine. Een stewardess kwam hierbij om het leven doordat ze uit het vliegtuig werd gezogen. Vele passagiers hadden verwondingen, maar wonderwel landde het vliegtuig veilig. De vliegtuiginspectie vond scheiding, corrosie en scheuren in de voegen van de romphuid.



Drinkwatersystemen

Ook in Nederland zijn er nog gevallen waar lodenpijpen in drinkwaterleidingen aanwezig zijn. Vaak bij wat oudere huizen vanaf de aansluiting “bij de voordeur” naar de tappunten in het huis.

De toxische effecten van loodinnname door de mens zijn eigenlijk al vanaf de Romeinse tijd bekend. Deze toxische effecten openbaren zich door afwijkingen in het functioneren van het centrale zenuwstelsel en de nieren, tevens worden veranderingen waargenomen in de activiteit van bepaalde enzymen die een rol spelen bij de aanmaak van rode bloedlichaampjes.

Reeds vanaf een loodconcentratie van $5\mu\text{g/l}$ in het bloed van jonge kinderen wordt al een daling van deze enzymactiviteit waargenomen. Bij hogere concentraties in het bloed van meer dan $10\mu\text{g/l}$ worden de eerste neurologische effecten waarneembaar en zijn er afwijkingen op het ontwikkelingsgebied.

Koper

In tegenstelling tot lood, is koper een essentieel element, waarvan de dagelijkse inname gemiddeld 1 tot 4 mg per dag bedraagt. De snelheid van opname en uitscheiding bij volwassenen regelt zich naar gelang de dagelijkse inname. Bij concentraties in drinkwater hoger dan 3 mg/l kan irritatie van de spijsverteringsorganen optreden. Het koper metabolisme bij jonge kinderen is veel minder ontwikkeld dan bij volwassenen, waardoor de concentraties in de lever zeer hoog kunnen zijn.

In het distributienet geldt een 'action level' van 15 //g/l lood en 1,3 mg/l koper. Dit betekent dat er actie moet worden ondernomen als meer dan 90% van de monsters niet aan deze waarden voldoet. Als actieniveaus worden overschreden moeten er bij bedrijven met meer dan 50.000 aansluitingen studies worden verricht om de corrosie te verminderen en moet er een conditioneringsplan worden opgesteld dat goedgekeurd moet worden door de staat.

3.3 Economische gevolgen

In voorgaande specifieke voorbeelden zien we dat de economische gevolgen niet uitsluitend beperkt blijven tot de fysieke schade aan het object/structuur. Vaak en zeker waar er doden en gewonden vallen strekt dit verder en vaak langdurige, zoals we bij de Bhopal ramp. De totale jaarlijkse wereldwijde kosten als gevolg van corrosie zijn moeilijk te bepalen. Er zijn veel studies naar gedaan, maar het verkrijgen van een totaalbeeld van de kosten van corrosie blijft een schatting. Veel corrosie gerelateerde problemen en de daaraan gekoppelde kosten, worden vaak niet gemeld en daardoor niet meegeteld. Veelal om dat het voor instanties en publiek onopgemerkte, relatief kleine, incidenten betreft.

Een in 2013 uitgevoerde studie geeft een globale schatting van circa 2000 miljard Euro. Opvallende in deze studie is dat zowel in Europa als de VS de kosten circa 17% van het GDP betreft. In China rond de 10%, maar Azië en het Midden-Oosten liggen de cijfers beduidend lager. Dat ligt in hoofdzaak aan het gebrek aan een wereldwijde uniform gedefinieerde standaard.



4. Corrosieverschijningsvormen

4.2 Galvanische corrosie


Deze vorm van corrosie, ook wel contactcorrosie genoemd, treft men aan op plaatsen waar verschillende metalen contact met elkaar maken. Dat kan direct contact zijn of indirect onder invloed van een tussenstof, een elektrolyt genoemd. De zogenaamde galvanische reeks metalen geeft details over hoe metalen zich ten opzichte van elkaar gedragen. Met behulp van de lijst is te voorspellen welk metaal zal corroderen.

De galvanische reeks is een rangorde van metalen en semi-metalen in de volgorde van edel naar minder edel. Platina is bijvoorbeeld edeler dan goud, gietijzer edeler dan zink en deze laatste twee weer minder edel dan goud. Daarbij moet opgemerkt worden dat er verschuivingen in de lijst kunnen plaatsvinden, maar deze zijn afhankelijk van de milieuomstandigheden waarin deze metalen zich bevinden.

Hieronder een eenvoudig voorbeeld van een galvanische reeks, met links de spanningsreeks en rechts van edel naar minst edel. De reeks zoals hieronder is gebaseerd op een zuiver zoutwatermilieu.

Tabel 2: De galvanische spanningsreeks

Materiaal	E.M.F. (Volt)
Goud	+0,15
Zilver	0,00
Nikkel legering	-0,13
Vernikkeld	-0,14
Monel (Nikkel/koper)	-0,16
Koper	-0,18
Koper/Nikkel	-0,18
Fosfor brons	-0,22
RVS (gunmetal)	-0,24
Messing	-0,30
Verchroomd	-0,50
Gietijzer	-0,70
Aluminium legering	-0,75
Gegalvaniseerd ijzer	-1,06
Zink legering	-1,09
Verzinkt	-1,10
Magnesium legering	-1,58

Materiaal	
Platina	
Goud	
Grafiet	
Zilver	
Corrosievast staal AISI 316 (gepassiveerd)*	
Corrosievast staal AISI 304 (gepassiveerd)*	
Chroomstaal (gepassiveerd)*	
Inconel (gepassiveerd)*	
Nikkel (gepassiveerd)*	
Zilver solder	
Monel	
Koper-nikkellegeringen	
Bronz	
Koper	
Messing	
Inconel (actief)	
Nikkel (actief)	
Tin	
Lood	
Lood-tin solder	
Corrosievast staal AISI 316 (actief)	
Corrosievast staal AISI 304 (actief)	
Chroomstaal (actief)	
Gietijzer	
Staal of ijzer	
Aluminium, koperhoudend	
Cadmium	
Aluminium	
Zink	
Magnesiumlegering	
Magnesium	

De spanningsreeks die hier is weergegeven is zoals al reeds aangegeven op basis van een zoutwatermilieu. We moeten hierbij opmerken en dat deze is opgesteld in zuiver zoutwatermilieu, dus zuiver zeewater, dat is geldt niet altijd. Indien je zeewater op verschillende locaties zou testen dan kunnen daar verschillen uitkomen. Denk daarbij aan verontreinigingen, ondiep of diepe watermilieu, is het dicht bij de monding van een rivier, zo zijn er verscheidende invloeden die de samenstelling van het zeewater kunnen beïnvloeden. Het is goed mogelijk dat de spanningsreeks bij zulke verschillende samenstellingen van zeewater afwijkingen zal vertonen en dient men er terdege rekening mee te houden.

Voor het ontstaan van galvanische corrosie zijn drie voorwaarden nodig:

- Twee verschillende metalen.
- Een geleidende vloeistof, de zogenaamde elektrolyt.
- Een elektrische verbinding tussen de twee metalen via de geleidende vloeistof.

Wanneer twee verschillende metalen materialen elektrisch zijn verbonden en geplaatst in een geleidende oplossing (elektrolyt), ontstaat er een elektrisch potentieel, een spanningsverschil. Dit potentiaalverschil zal een drijvende kracht zijn voor de ontbinding van het minder edele metaal. Het vermindert ook de neiging van het edelere metaal om op te lossen. In de voorgaande galvanische reeks ziet men dat het edelmetalen goud en platina hebben een hoger potentieel, dus edeler. Zink en magnesium hebben een lagere potentiaal, dus minder edel.

Het principe van edel en minder edel, waarbij het mindere edele metaal “verdwijnt” wordt gebruikt bij bescherming” van onder andere stalen scheepsrompen in een zoutmilieu. Hierbij worden blokken van zink bevestigd op de scheepsromp en het zink wordt al het ware opgeofferd om het staal te bescherming. Deze vorm van bescherming staat bekend als “kathodische bescherming”, waarover later meer.

Een stalen scheepsromp met zinkblokken



Als twee materialen uit de reeks in een agressief milieu, zoals zoutwater, worden geplaatst kunnen weliswaar beide metalen corroderen, maar met verschillende snelheden. Het metaal met de hogere corrosiesnelheid wordt het corroderende dan anode. De twee metalen worden in dit verband ook wel het galvanische koppel genoemd. In dat galvanische koppel is het metaal wat het snelst corrodeert de anode en het andere metaal de kathode. Denk aan het begrip “kathodische bescherming”, de kathode wordt beschermd en de anode wordt opgeofferd ten koste van de kathode.

Men ontkomt er vaak niet aan om ongelijke metalen toe te passen. Tijdens de ontwerpfase is het dan belangrijk om twee materialen te selecteren die in de galvanische reeks relatief dicht op elkaar zitten. Hoe verder uit elkaar twee metalen in de galvanische reeks zitten, des te groter de snelheid waarmee de corrosie zal plaats vinden. Bovendien moet er bij de selectie tevens aandacht zijn voor het feit dat de corrosiesnelheid wordt beïnvloed door een aantal bijkomende factoren zoals, de samenstelling en de temperatuur van de elektrolyt alsook de oppervlakte van de anode en de kathode ten opzichte van elkaar.

Waar ook rekening mee moet worden gehouden is dat sommige metalen in een oxiderende omgeving een oppervlakte film vormen. Hierdoor vindt er voor dit soort metalen een verschuiving plaats in de galvanische reeks in de richting van meer edel.

In de meeste omgevingen heeft roestvast staal een corrosiebestendig oxide film op het oppervlak. Daardoor heeft het rvs de neiging om zich kathodisch te gedragen ten opzichte van gewoon staal. Echter wanneer chlorideconcentraties hoog zijn, zoals onder andere in zeeewater, kan er een rvs een verandering van passieve toestand naar de actieve toestand ondergaan.

Zuurstofgebrek veroorzaakt ook een wijziging in de actieve toestand. Dit gebeurt wanneer er geen vrije toegang tot zuurstof is, zoals in spleten en onder vervuiling van gedeeltelijk vervuilde oppervlakken. Verschillen in bodemconcentraties, zoals vochtgehalte en soortelijke weerstand,

kan verantwoordelijk zijn voor het creëren van anodische en kathodische gebieden. Daar waar er een verschil is in zuurstofconcentraties in het water of in vochtige bodems in contact met metaal op verschillende plaatsen, kathodes ontwikkelen zich bij hoge zuurstofconcentraties, en anodes zullen zich ontwikkelen op punten met een lage zuurstofconcentratie. Gespannen delen van metalen hebben de neiging om anodische en niet-gespannen delen te zijn hebben de neiging om kathodisch te zijn.

Factoren die een invloed hebben bij galvanische corrosie zijn de verschillen in samenstelling van de metalen, het milieu, de locatie van de corrosie-aanval, de oppervlakte ratio van de anode en de kathode, de temperatuur.

4.3 Lokale Corrosie

Lokale corrosie is zoals de naam aangeeft beperkt zich tot een klein gebied, in eerste instantie! Echter het blijft daardoor meer dan eens onopgemerkt totdat het zich, aanzienlijk, heeft uitgebreid. Op het moment dat het wel opvallend waarneembaar wordt met het blote oog is dan vaak het kwaad al geschiedt.

Putcorrosie

De naam putcorrosie suggereert het al, het is een type van corrosie dat tot uiting komt door putjes in het oppervlak. Uiteindelijk kunnen deze putjes uitgroeien tot relatief diepe en nauwe putten. Het komt voor op plekken waar beschermende lagen of walshuid is beschadigd. Dit leidt op die plekken tot versnelde aantasting waarbij de corrosie de diepte in gaat, met een diepte die meer is dan de diameter van de putten. Diameters kunnen variëren van enkele micro- tot millimeters, afhankelijk van in diameter Als deze corrosie niet wordt gestopt zal deze zich bovendien verder verspreiden, dieper en wijder, waarbij ook blaarvorming van de beschermende laag kan ontstaat.

Bij metalen, onder andere rvs en aluminium, die zichzelf beschermen tegen corrosie met oxidelaag beschermen treedt bij de beschadiging van deze laag putcorrosie op. Vaak is dat bij deze metalen onder invloed van chlorine houdend water, zoals zeewater. Het in het water aanwezige chloride voorkomt dat een beschadigde beschermende laag zich herstelt.

Spleetcorrosie

Dit type corrosie komt voor op contact gebieden tussen onderdelen, pakkingen, keerringen, scheurtjes en naden. Spleetcorrosie is de algemene naam, maar ander namen die rondgaan zijn o.a.: pakkingscorrosie en afzettingscorrosie (Engels, resp. gland corrosion en deposit corrosion).



Deze vorm van corrosie is heel vaak niet zichtbaar het is een vorm van plaatselijke corrosie op moeilijk bereikbare metalen oppervlakken, zoals tussenruimten waarin een oplossing vastzit en niet wordt vernieuwd. Aanwezig onder een pakking tussen twee flenzen, Het kan ook voorkomen indien een metalen oppervlakte geheel of gedeeltelijk is bedekt met een niet metallische laag, zoals een laag opgehoopt “vuil” wat zich heeft afgezet op een oppervlak. Ook capillaire werking kan spleetcorrosie in de hand werken. Een tussenruimte (spleet) van enkele micrometer kan al een oorzaak zijn voor spleetcorrosie.

Bij pakkingen kan er vloeistof tussen de pakking en het metaal van de flenzen kruipen. Er is een spleet waarin vloeistof weinig uitwisseling heeft met zuurstof en er potentiaalverschil kan ontstaan waardoor corrosie kan optreden. Spleetcorrosie wordt gedreven door twee initiators, de ene de vloeistof die als het ware opgesloten zit in de spleet en als elektrolyt gaat fungeren en de tweede is het ontstaan van een spanningsverschil. Er moet in slechts enkele microliter elektrolyt aanwezig zijn om de corrosie in gang te zetten.

Materialen worden blootgesteld aan krachten, normale belastingen zijn geen probleem. Echter een eenmalige piekbelasting of herhaaldelijk lagere krachten die tot metaalmoeheid leiden kunnen tot microscheurtjes in het materiaal leiden. In deze microscheurtjes ontstaat een ideale omgeving voor het ontstaan van spleetcorrosie. Opmerkelijk genoeg zijn vooral passieve metalen zoals rvs hier gevoelig voor.

4.5 Filiform corrosie

Deze corrosie vorm is ook bekend onder de naam “draadvormige corrosie”, filiform betekent letterlijk draadvormig, naar de vorm die het toont. Deze corrosie vindt plaats in een milieu waarbij een combinatie van vocht, zuurstof met daarbij een zeeklimaat.

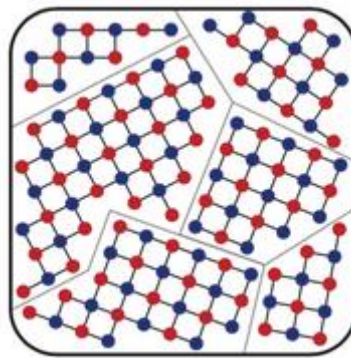
Bij gecoate staal-, aluminium- en magnesiumoppervlakken komt deze vorm van corrosie voor. Filiform corrosie is oppervlakte aantasting van het metaal op het grensvlak van metaal en de coating. Het gevolg is dat het uiterlijk van het oppervlak wordt aangetast en de coating loslaat van de metalen ondergrond. De draadvormige corrosie ontstaat op plekken waar geen of onvoldoende coating zit.

Omdat het nauwelijks tot aantasting in de diepte van het metaal resulteert heeft het geen gevolgen voor de mechanische integriteit van het onderliggende metaal. Het is veelal een esthetische probleem en de sterkte en stijfheid van het materiaal blijft nagenoeg ongewijzigd.

Plekken op het materiaal die met name gevoelig zijn voor deze vorm van aantasting zijn: de randen en gaten, dus op plekken waar vaak de coating ontbreekt, beschadigd is of te dun is aangebracht.

4.6 Interkristallijne corrosie

Bij interkristallijne corrosie ontstaan de corrosie zich langs de korrelgrenzen van een legering, ook legeringen die doorgaans als corrosie vast worden aangemerkt. Deze metalen zijn opgebouwd uit korrels die weer opgebouwd zijn uit kristallen. Dit is een zogenaamde polykristallijne structuur. Elke korrel is opgebouwd uit een groot aantal kleine kristallen, die in die korrels aan elkaar gehecht zijn. Op de buitengrenzen van deze korrels kan interkristallijne corrosie voorkomen.



Het materiaal zal door de corrosie zijn samenhang verliezen, ook als een kleine hoeveelheid van het metaal corrodeert kan de verzwakking van het materiaal aanzienlijke schade veroorzaken.

De kristallijne corrosie komt voor tussen de korrels op die plaatsen waar er een minder gunstige aansluiting is van de korrels ten opzichte van elkaar. Juist op die plekken is er sprake van een energieverval waardoor elementen losgeweekt kunnen worden vanuit de kristallen. Dit in tegenstelling tot de korrels en kristallen die goed op elkaar aansluiten, die juist samen een goede bonding en daarmee weerstand hebben tegen het “losweken” van elementen. Overigens, niet alleen imperfecte aansluitingen van korrels en kristallen, maar ook minuscule verontreinigen, vreemd materiaal, kan bijdragen aan interkristallijne corrosie.

4.7 Spanningscorrosie (Stress Corrosie)

Spanningscorrosie is een vorm van corrosie waarbij scheurtjes ontstaan die in de spanningsrichting uitbreiden. De fijne scheur die aan de oppervlakte van het materiaal ontstaat, kan zich in de diepte van het materiaal uitbreiden. Spanningscorrosiescheuren ontstaan met name op die locaties waar de mechanische trekspanning hoog is. Locaties die in met namen in aanmerking komen voor spanningscorrosie zijn: dik-dun overgangen,

inkepingen en gelaste constructie. Bij spanningscorrosie vertoont de scheur meestal een kristallijn verloop, doch combinaties van andere corrosievormen kunnen ook plaats vinden.

De vormen van corrosie die we tot nu toe hebben behandeld hebben we bekeken vanuit het perspectief dat er geen spanning (stress) op het metaal wordt uitgeoefend. Voorbeelden van metaalconstructies zijn: een drukvat, een warmtewisselaar, een verzameling pijpleidingen, een metaalconstructie voor procesapparatuur of een metalen offshore constructie.

Al deze constructies ondervinden zijn in meer of minder mate blootgesteld aan krachten veroorzaakt door de installatie zelf, denk aan veranderingen door hitte, maar ook aan dynamische krachten door de omgeving. Heb je in feite drie invloeden, het chemische proces, de stress en de omgevingsfactoren.

Om stress corrosie te begrijpen moeten we naar al deze drie factoren kijken. Stress corrosie wordt veroorzaakt door een combinatie van factoren in relatie tot het materiaal, namelijk: het milieu waaraan het materiaal wordt blootgesteld, de trekspanningen en de metallurgisch eigenschappen karakter van het materiaal.

Met de metallurgische eigenschappen bedoelen we met name de samenstelling, de structuur en de spanningstoestand van het materiaal. De spanning in het materiaal kan in twee categorieën worden verdeeld, de eerste de spanning(en) veroorzaakt door de externe belasting op het materiaal de tweede categorie de reeds aanwezige spanning in het materiaal. Deze interne spanningen ontstaan tijdens de productie, men kan daarbij onder andere denken aan lasverbindingen. Deze interne materiaalspanningen zijn dus nog steeds aanwezig als je de externe belasting zou weghalen.

Belangrijk om op te merken is dat spanning gerelateerde corrosie kan ontstaan binnen de elasticiteit gebied van het materiaal. Het materiaal hoeft derhalve niet overbelast te worden of te zijn geweest, maar overbelasting boven de kritische waarde zal het spanningscorrosie effect zeker verergeren.

4.8 Flow-Assisted Corrosion FAC (Stromingondersteunde corrosie)

Door stroming ondersteunde corrosie, of door stroming versnelde corrosie, ontstaat wanneer een beschermende oxidelaag op een metalen oppervlak wordt opgelost of verwijderd door wind of water, waardoor het onderliggende metaal wordt blootgesteld aan verdere corrosie en achteruitgang.

Het wordt gedefinieerd als de toename van de corrosiesnelheid van een metaal als gevolg van de relatieve beweging tussen het metalen oppervlak en de corrosieve omgeving die vloeibaar of gasvormig kan zijn. Dit is een veel voorkomende vorm van corrosie waarbij hoge snelheden van corrosieve vloeistof worden aangetroffen. Het wordt ook botsingscorrosie genoemd.

Het metaal wordt als opgeloste ionen van het oppervlak verwijderd, of als het vaste corrosieproducten vormt, worden deze mechanisch van het metaaloppervlak geveegd.

Het door erosie gecorrodeerde oppervlak ziet er helder uit met karakteristieke putten, groeven, golven, ronde gaten en dalen, en vertoont een directioneel patroon. De meeste metalen en legeringen lijden onder erosie-corrosie, maar metalen die zacht zijn om mechanisch te slijten,

zoals koper en lood, zijn vatbaarder voor erosie-corrosie. Alle machines die worden blootgesteld aan bewegend fluïdum lijden aan erosie-corrosie zoals bochten, ellebogen, T-stukken, mondstukken, kanalen, schotten, valleien, pompen, blazers, propellers, waaiers, roerwerken en geroerde vaten, turbinebladen, enz.

Factoren die erosie en corrosie beïnvloeden:

- Aard van de oppervlaktefilm:

Sommige metalen vormen een beschermende film. Een harde, dichte, hechtende en continue film die bestand is tegen slijtage in de specifieke omgeving waaraan het metaal wordt blootgesteld tijdens gebruik, kan een betere bescherming bieden. Metaal moet in staat zijn om de film snel en gemakkelijk te vormen wanneer het vers wordt belicht, of snel te hervormen wanneer het beschadigd of vernietigd is.

- Snelheid van medium:

De verhoogde snelheid van het medium kan de mechanismen van corrosiereacties beïnvloeden, evenals de mechanische slijtage verhogen, vooral wanneer het vaste stoffen in suspensie heeft. Normaal gesproken neemt de aanvalssnelheid snel toe wanneer een kritische snelheid wordt bereikt, vooral wanneer dit het corrosiemechanisme versnelt. Bijvoorbeeld in staalsoorten door verhoogde aanvoer van O₂, CO₂ of H₂S.

Het kan de corrosie verminderen door de effectiviteit van remmers te vergroten door chemicaliën met een hogere snelheid aan het metaaloppervlak toe te voeren, of door de afzetting van slib, vuil, dat spleetcorrosie zou veroorzaken, te voorkomen, of door het aanwezige of nieuw gevormde corrosieve middel te verwijderen. Turbulente stroming van vloeistof resulteert in een beter intiem contact tussen de omgeving en het metaal om de erosie-corrosie te versterken.

Turbulente stromingsomstandigheden komen vaak voor wanneer stromende vloeistof verandert van een grote pijp in een pijp met een kleinere diameter, of door de aanwezigheid van richels of andere obstructies. Inklemmingsaanval is zeer ernstig wanneer vloeistof wordt gedwongen de stroomrichting te veranderen. Vaste stoffen, gasbellen, luchtbellen in de vloeistof versnellen de botsingsaanval. Bijvoorbeeld in stoomturbinebladen, in uitlaten, bochten, T-stukken, externe componenten van vliegtuigen, onderdelen voor inlaatpijpen, enz.

- Aard van het materiaal:

De samenstelling van de legering bepaalt in hoge mate de corrosiebestendigheid. Een actief metaal of een legering met actief metaal is bestand tegen corrosie dankzij de beschermende film. Een edelmetaal heeft zijn eigen inherente corrosiebestendigheid zoals nikkel, zodat 80 Ni-20 Cr-legering superieur is aan 80% Fe-20% Cr-legering.

5. Corrosie Controle, Detectie, Inspectie en Monitoren

(Alternatieve titel: “Corrosiebewaking”)

Corrosie zorgt jaarlijks voor het verlies van grote hoeveelheden metaal en vermindering van integriteit van structuren en installaties. Inspectie, detectie en monitoren van corrosie is een sleutel element om te beoordelen of de veiligheid van in de ruimste zin in het geding is of komt. Een term die vanaf hier vaker zal worden gehanteerd is “asset”, letterlijk “een bezit van waarde”. Met asset kan bedoeld worden een installatie, structuur of gebouw of elementen daarvan.

Het hoofddoel van corrosie controle is om vast te stellen of installaties en structuren conformeren aan de specificaties. In simpelere termen, mijn kijkt en beoordeeld of de installatie/structuur nog voldoet aan de ontwerpeisen en of deze veilig is om in te werken, te verblijven en of ook de omgeving geen gevaar loopt in de ruimste zin.

In elke industrie, maar met name in de chemische industrie, kan corrosie een van de grootste bedreigingen zijn voor de levensduur van de assets. Zonder de juiste bewaking kunnen fornuizen, ovens, kolommen, ketels, drukvaten of grote opslagtanks langzaam slijten als gevolg van corrosie, waardoor lekken of storingen ontstaan en bijdragen aan slechte prestaties en betrouwbaarheid. In extreme gevallen, als corrosie niet wordt gecontroleerd, kan dit leiden tot het deels disfunctioneren of het volledig falen van een asset tot en zelfs heftige explosies aan toe. Al deze situaties zijn veiligheidsrisico's voor de werknemers, omwonenden, enorme hoge kosten aan verlies van apparatuur, milieuschade en schade aan de samenleving ruimste zin.

Wereldwijd worden de kosten van verliezen door corrosie geraamd op 2000 miljard Euro (2000 000 000 000), dat is weliswaar alles meegeteld, directe en indirecte verliezen. De schatting is dat corrosiepreventie, corrosie controle en tijdig actie een besparing op zou kunnen leveren van 35 procent van dat bedrag, dus circa 700 miljard Euro.

En daarom is corrosiebewaking, zijnde corrosie controle, inspectie en monitoring zo belangrijk, het helpt de kosten te beperken door de degradatie van een asset te bewaken, waardoor problemen kunnen worden aangepakt voordat ze een kritiek punt bereiken en hogere kosten het vanzelfsprekende gevolg zullen zijn.

5.1 Monitoren

Corrosie is de geleidelijke vernietiging van een materiaal (meestal metalen) veroorzaakt door interactie met chemicaliën, elektrochemische reacties, wrijving of een andere omgevingsfactor. Monitoren is het observeren en controleren van de voortgang of kwaliteit van iets over een bepaalde periode. Dus, simpel gezegd, corrosiemonitoring is het volgen van de geleidelijke vernietiging van materialen in de loop van de tijd. Corrosie verschijnt vaak eerst als een discontinuïteit in een materiaal, zoals een verkleuring of een andere verandering in het uiterlijk. Dit betekent opzoek gaan naar corrosie, onregelmatigheden in de muur of andere oppervlakken, die het bestaan van corrosie kunnen onthullen. Als een deel van een bedrijfsstructuur, zoals een stalenconstructie of betonwapening, corrosie blijkt te hebben, is het belangrijk om te beginnen met het monitoren van de groei ervan. In de loop van de tijd veranderen de gegevens hierover.

Monitoring kan tegelijkertijd met inspecteren gebeuren, maar de twee activiteiten zijn verschillend. Monitoring richt zich vaak op een specifiek gebied van een asset en gebeurt over het algemeen vaker dan inspecteren. Wanneer het woord monitoring wordt gebruikt verwijst het naar regelmatige gegevensverzameling om veranderingen in een bepaald gebied of gebieden van een actief in de loop van de tijd te volgen.

5.2 Inspecteren

Inspecteren richt zich op de gehele asset en gebeurt over het algemeen minder vaak dan monitoring. Wanneer het woord monitoring wordt gebruikt in de context van het praten over het onderhoud van een industrieel actief, zoals een ketel of drukvat, verwijst het naar regelmatige gegevensverzameling om veranderingen in een bepaald gebied of gebieden van een actief in de loop van de tijd te volgen. Ter vergelijking: een inspectie verwijst naar een volledige beoordeling van de gehele asset. Een inspectie kan corrosie aan het licht brengen, wat vervolgens zal leiden tot een aanbeveling om de gecorrodeerde gebieden te met regelmaat te gaan controleren.

In de meeste landen moeten inspecties met een bepaalde regelmaat worden uitgevoerd, de meeste bedrijven hanteren een strengere norm dan de wettelijke norm. De normen die gehanteerd worden zijn afhankelijk van het type asset. Een asset dat wordt blootgesteld aan wisselende en hoge belasting, zowel druk, temperatuur alsook corrosieve producten zal frequentere controle behoeven.

Als de groei van corrosie op een specifiek deel van bijvoorbeeld een fornuiswand snel lijkt toe te nemen, kan de monitoring frequentie worden gewijzigd. Met een hogere frequentie van monitoring zal ervoor zorgen dat de corrosie nog nauwgezetter wordt gevolgd. Als de corrosie aanhoudt en doorzet, kan monitoring uiteindelijk leiden tot een aanbeveling om werk te maken van het corrigeren van de degradatie.

Doelen van corrosiebewaking

Er zijn drie belangrijke redenen waarom corrosiebewaking belangrijk is:

- Veiligheid
- Kostenreductie
- Verbeterde efficiëntie

Veiligheid

Corrosiebewaking is belangrijk voor elke industrie die assets gebruiken die in de loop van de tijd kunnen degraderen. Vooral belangrijk in industrieën die werken met producten, die agressief zijn, kunnen exploderen en zeer schadelijk kunnen zijn voor mens en milieu. Naarmate apparatuur ouder wordt, kan deze steeds gevoeliger worden voor corrosie en minder bestand zijn tegen zware omstandigheden zoals onder andere hogedrukken en temperaturen. Het doel van corrosiemonitoring is om potentiële probleemgebieden in apparatuur te volgen, zodat ongevallen worden vermeden en de weknemers veilig zijn.

Verbeterde efficiëntie

Naast het helpen voorkomen van ongevallen en het verlagen van de kosten, kan corrosiebewaking de efficiëntie van industriële activiteiten verbeteren door:

- Verlenging van de levensduur van bestaande activa en van gerelateerde operationele apparatuur.
- Inzicht geven in de soorten materialen die minder snel corroderen voor toekomstige ontwerp en aankoop van assets.
- Bijdragen aan de identificatie van kosteneffectieve methoden voor het verhelpen van corrosiegroei en aanverwante problemen.
- Het identificeren van omstandigheden met betrekking tot corrosie in de bedrijfsomgeving. Niet alleen de negatieve factoren, maar ook het identificeren van factoren die corrosie lijken te verminderen en daarbij behulpzaam zijn bij onderhoudsmanagement.
- Verkorten van onderhoudsstop van een installatie.

Kostenreductie

Als een asset zoals een stoomketel voortijdig uit elkaar valt door corrosie kan het kostenplaatje hoog oplopen als daarmee van stoom afhankelijk productiemiddelen ook stil komen te liggen. In proces intensieve industrieën zoals de chemische industrie, waar wordt gewerkt in raffinaderijen of fabrieken kan corrosie jaarlijkse hoge kosten met zich meebrengen in termen van aangetaste en beschadigde apparatuur. Corrosiemonitoring kan bedrijven helpen deze kosten te vermijden door bij te dragen aan de levensduur van deze apparatuur.

Uitvoering van corrosiemonitoring

De belangrijkste informatie om te verzamelen tijdens corrosiemonitoring is:

- De locatie en omvang van de corrosie.
- De snelheid van corrosie, hoe snel het zich op basis van de tijd verspreidt.
- De onderliggende oorzaak(en) van de corrosie

Voor het verzamelen van alle benodigde informatie zal een inspectieteam zal allereerst beginnen met een visuele inspectie. Vervolgens afhankelijk van wat men heeft aangetroffen over gaan tot meer verfijnde instrumenten, zoals het gebruik van een ultrasone tester om de wanddikte te meten, indien nodig.

Visuele inspectie

Bij een visuele inspectie van een asset zal een inspectieteam alles wat zichtbaar is bekijken:

- De bestaande corrosie (d.w.z. de corrosie die wordt gecontroleerd) is toegenomen.
- Er zijn nieuwe gebieden met corrosie, zoals aangegeven door een discontinuïteit in het oppervlak van de asset.
- Als de visuele inspectie aangeeft dat corrosie groeit of dat er nieuwe corrosie wordt geconstateerd zullen voor een verdere beoordeling worden uitgevoerd met verschillende soorten niet-destructieve testmiddelen (NDO = Non Destructieve Onderzoek) om de hoeveelheid corrosie die aanwezig is te kwantificeren.

Ultrasoon testen

Een van de meest voorkomende soorten NDO-gereedschappen die worden gebruikt voor corrosiebewaking, nadat een visuele inspectie is uitgevoerd, is een ultrasonische tester. Deze testers gebruiken korte ultrasonische pulsgolven om inspecteurs in staat te stellen de dikte van een gecorrodeerde wand te meten om te kwantificeren hoeveel metaal of ander materiaal verloren kan zijn gegaan ten opzichte van de omliggende, niet-gecorrodeerde gebieden. Hoewel ultrasoon testen het meest wordt gebruikt op metalen, kan het ook worden gebruikt op hout, beton en andere composietmaterialen.

Als deze hiermee blijkt dat de gevonden corrosie een aanvaardbare hoeveelheid is volgens de specificaties van de locatie, zal de inspecteur een notitie maken om de groei en dikte van de corrosie te blijven volgen en zal hij op dat moment geen onderhoud aanbevelen.

Andere NDO-testmethoden die worden gebruikt bij corrosie monitoring

Naast visuele en ultrasonische gegevens kunnen inspecteurs ervoor kiezen om andere NDO-tools te gebruiken om corrosie te controleren.

Enkele van deze testmethoden zijn:

- Radiografische testen - met behulp van elektromagnetische straling om de interne structuur van een materiaal te onderzoeken.
- Geleide golf testen - met behulp van akoestische golven om corrosie te detecteren. Deze methode is ideaal voor pijpleidingen en soortgelijke structuren omdat hiermee corrosie over zeer lange afstanden kan worden gemeten
- Magnetische fluxlekkage - met behulp van een krachtige magneet om staal of ander metaal te magnetiseren en vervolgens te meten waar er "lekken" zijn in het magnetisch veld, wat wijst op corrosie, putjes of andere schade aan het metaal.

Hoe meer NDO-tools en monitoringstechnieken men ter beschikking heeft, des te meer informatie en gegevens men heeft over de toestand en inzichten die verkregen worden over verloop van tijd met betrekking tot degradatie als gevolg van corrosie.

Corrosie monitoring technieken

Er zijn verschillende technieken die inspecteurs kunnen gebruiken bij het gebruik van deze verschillende NDO-tools voor corrosiebewaking. Sommige van deze technieken omvatten het plaatsen van een stuk van het materiaal uit het object dat wordt gecontroleerd in dezelfde omstandigheden als het gecorrodeerde materiaal om te observeren hoe het verandert, en andere omvatten het sturen van een sonde gemaakt van verschillende materialen naar die omstandigheden om metingen te doen over de omstandigheden daar. In beide gevallen omvatten de technieken het registreren van veranderingen in de loop van de tijd om te begrijpen hoe corrosie kan plaatsvinden van de ene tijdseenheid - of het nu een dag, een week of een maand is - naar de volgende.

Hier zijn enkele van de meest voorkomende corrosiebewakingstechnieken:

- Het creëren van visuele records om corrosiegroei te volgen. De informatie op bouwtekeningen in kaart brengen, die vervolgens kunnen worden vergeleken met toekomstige visuele gegevens om de groei van corrosie in de loop van de tijd te volgen.
- Bewaking van de ultrasone dikte. Dit is een veelgebruikte techniek die een ultrasone tester gebruikt om een object te scannen om de dikte ervan te meten.
- Het gebruik van sondes om de elektrische weerstand te meten. Sondes volgen veranderingen in elektrische weerstand, die kunnen worden gebruikt om metaalverlies in de loop van de tijd te volgen. Sondes kunnen regelmatig gegevens verstrekken over de snelheid van corrosie, jaarlijks, maandelijks of soms zelfs nog een kortere tijdsperiode.
- Materiaal strips gebruiken, dit is een stuk materiaal dat overeenkomt met het materiaal dat wordt bewaakt. De “strip” fungeert als een vergelijking voor het object dat wordt bewaakt. Om deze corrosiebewakingstechniek te gebruiken, stelt men de strip of meerdere strippen gedurende een vooraf bepaalde hoeveelheid tijd bloot aan omstandigheden die vergelijkbaar zijn met het eigenlijke object. Tevens kan de blootstelling versneld worden om zo een beeld te krijgen van hoe het object zich in de tijd zal gedragen.

Hierna nog een aantal minder gebruikelijke corrosiebewakingstechnieken:

- Monitoren van biologische groei. Deze techniek identificeert bacteriën in een asset die zich voeden met sulfaat. Deze bacteriën produceren zwavelzuur (H_2SO_4), dat extreem corrosief is, dus hun aanwezigheid in een troef betekent dat een bepaalde hoeveelheid corrosie zeer waarschijnlijk is.
- Monitoren van waterstofpenetratie. Met behulp van sondes kun je de hoeveelheid waterstof meten die oplost in staal. In olie en gas is waterstof vaak een bijproduct van veel van de reacties die plaatsvinden in olie en gas, en de aanwezigheid ervan kan er uiteindelijk toe leiden dat het staal broos wordt en barst als het onopgemerkt en niet wordt gecontroleerd.

Corrosiebewaking rapporteren

Nadat inspecteurs visuele of andere gegevens over de status van corrosie hebben verzameld tijdens het uitvoeren van corrosiemonitoring, kunnen zij de volgende stappen ondernemen:

- Een beslissing nemen over of de asset geschikt is voor onderhoud, reparatie of vervanging.
- Neem aan de hand van het inspectieschema beslissingen over de noodzaak van verhoogde frequentie of andere wijzigingen.
- Ontwikkelen van aanbevelingen om bestaande corrosie gerelateerde problemen van de asset(s) te corrigeren/verhelpen.
- Ontwikkelen van andere strategieën om corrosie te voorkomen, zowel voor het te monitoren bedrijfsmiddel als voor andere soortgelijke assets ter plaatse of op andere locaties van de bedrijfsorganisatie.
- Het maken van voorspellingen over de resterende levensduur van assets.

6. Corrosie Preventie

De preventie van corrosie begint bij de ontwerpfase van constructies, installaties en apparatuur. Ontwerpers moeten zich bewust zijn van en inzicht hebben in corrosieproblemen. Bij de keuze voor materialen speelt uiteraard de kosten een belangrijk rol. Sommige metalen zijn intrinsiek beter bestand tegen corrosie dan andere, maar beter bestand is vaak ook duurder. Bij ontwerpen wegen kosten zwaar en corrosiepreventie maatregelen moet daarom in verhouding staan tot. De keuze valt toch vaak op materialen die een mate van corrosiegevoeligheid hebben. De corrosiegevoeligheid en de combinatie van materialen moet zodanig zijn dat er geen corrosie versnelling is.

Bij het ontwerp kijkt men eveneens naar de volgende aspecten:

Toegang voor periodiek onderhoud

Het ontwerp moet voldoende toegang bieden voor periodiek onderhoud. Als er men niet bij de constructie kunnen komen, kan er geen inspectie en geen onderhoud worden uitgevoerd. Als het niet mogelijk is om toegang te verlenen met conventionele methoden, moet dit tijdens het ontwerp worden gepland en moeten de noodzakelijke wijzigingen of regelingen worden uitgevoerd in de plannings- en ontwerpfase.

Stof ophoping voorkomen

Het ontwerp kan zodanig zijn men voorkomt dat er stof wordt verzameld in de stalen elementen. Ook al zijn er beschermende coatings aangebracht, hun duurzaamheid hangt sterk af van of ze gedroogd of nat zijn. Het hebben van vocht met stof is een goede omgeving om corrosie te starten.

Luchtbeweging

Men moet voorkomen dat lucht stagneert. Lucht die stagneert vaak in combinatie met vocht, chloride of agressieve dampen is vragen om corroderen. Vandaar dat een adequate circulatie dergelijke problemen kan voorkomen.

Openingen

Gebouwen moeten openingen hebben om toegang toe te staan. In vochtige milieus, bijvoorbeeld in een zeeklimaat is het aanbevolen om minder openingen te maken om te voorkomen dat het vocht en chloride met lucht het gebouw binnendringen. Als het gebouw dicht bij de zee staat en er dominante openingen zijn in de richting van de wind, is het risico op corrosie zeer groot. Deze problemen kan men aanpakken vanaf de ontwerpfase en zoveel mogelijk worden vermeden om corrosie te voorkomen.

Regelmatige inspecties

Het wordt aanbevolen om de staalconstructies regelmatig te controleren om hun toestand te kennen. Regelmatige inspectie voor een planning zou kunnen worden gedaan om vast te stellen of er problemen zijn in verband met de duurzaamheid van de constructie. Als een dergelijk probleem wordt opgemerkt, kunnen in de beginfase maatregelen worden genomen voordat het erger wordt.

Onderhoud

Periodiek onderhoud is een noodzaak bij staalconstructies, of het nu gegalvaniseerd en geleverd of geleverd is, of we gebruiken een andere methodes om corrosie te voorkomen. Na inspectie van de constructie moeten noodzakelijke onderhoudswerkzaamheden worden

uitgevoerd. Het niet uitvoeren van periodieke inspecties kan de ernst van de defecten vergroten en de duurzaamheid van de constructie verminderen. Verder zal het niet uitvoeren van het reguliere onderhoud de kosten van reparatie van het defect in de laatste fase verhogen.

Hoe corrosie voorkomen?

De beschikbare methoden voor bescherming tegen corrosie bespreken.

De volgende handelingen en het gebruik van materiaal kunnen het risico op corrosie vermijden/minimaliseren.

- Metaalsoorten
- Beschermende coatings
- Opofferende coatings
- Corrosie-inhibitoren
- Onderhoud

Metaalsoorten

Waar mogelijk is het raadzaam om staal te gebruiken dat niet onderhevig is aan corrosie. Metalen zoals aluminium en roestvrij staal kunnen als alternatieve materialen worden gebruikt. De kostenfactor en de sterkte van het materiaal moeten in overweging worden genomen wanneer deze alternatieven worden geselecteerd.

Bij het bouwen van een brug bouwen, zal men geen aluminium of roestvrij staal gebruiken om constructiestaal te vervangen. Bij andere minder zwaarbelaste constructie zonder grote overspanningen, kan een aluminium frame wel uitkomst bieden.

RVS (Roest Vast Staal)

Gelegerd staal is een van de meest effectieve methoden om corrosie te voorkomen en combineert de eigenschappen van verschillende metalen om het resulterende product extra sterkte en weerstand te bieden. Corrosiebestendig nikkel bijvoorbeeld, gecombineerd met oxidatiebestendig chroom resulteert in een legering die kan worden gebruikt in geoxideerde en gereduceerde chemische omgevingen. Verschillende legeringen bieden weerstand tegen verschillende omstandigheden, waardoor bedrijven meer flexibiliteit krijgen. Gelegerd staal is echter erg duur.

Toepassing van rvs in een keuken



Schilderen

Verven werkt als een beschermende barrière voor het staal en voorkomt blootstelling van staal aan de omgeving. Het aanbrengen van verven is een uitgebreid onderwerp dat een gedetailleerde studie vereist. Hier wordt het echter kort besproken. Afhankelijk van de aard van de constructie en waar deze moet worden gebouwd, wordt de specificatie voor het schilderen gemaakt. Er worden bijvoorbeeld verschillende specificaties gebruikt voor mariene constructies en constructies die buiten de zee moeten worden gebouwd.

Het risico op corrosie is zeer hoog zeer dicht bij de zee en heeft een hogere bescherming nodig. Wanneer het echter ver van de zee wordt gebouwd, zijn er minder stringente eisen met betrekking tot de keuze van de verf. Dit is eveneens het geval bij een interne structuur die minder blootgesteld is aan de omgeving. Het aantal coatings dat op het staal wordt aangebracht, is een van de bepalende factoren voor bescherming. Daarom, hoe kleiner het risico, des te minder het aantal coatings en de dikte ervan.

De Eiffeltoren wordt om de 7 jaar geschilderd, waarbij er 60 000 liter verf wordt aangebracht



Eiffeltoren schilderwerk

Poeder coating

Poedercoating is een elektrostatisch proces waarbij met een spuitpistool poeder wordt aangebracht op metaal. Tijdens het uitharden in de oven worden de poederdeeltjes door de warmte eerst vloeibaar. Daarna stroperig en tenslotte uitgehard tot een mooie, duurzame harde coating. Poedercoating is hard en verdeelt zich goed over het metaal. Het kan vrij dik op een metaalobject worden aangebracht zonder dat er verzakking in de coating optreedt.

Het biedt de mogelijkheid tot speciale effecten. De poeders bevatten geen oplosmiddelen die schadelijk zijn voor het milieu en de resten van het poeder kunnen vaak worden hergebruikt. Hierdoor is het afval tijdens poeder coaten zeer gering.



Aanbrengen van de poedercoating

Metalen coating

De naam zelf geeft al een idee over de coating. Het is een soort metaalcoating die op het metaal wordt aangebracht.

- **Kathodische bescherming**

Het is het proces van het coaten van staal met zink. Deze methode wordt wereldwijd veel gebruikt omdat deze betrouwbaarder en duurzamer is. Het zink zal makkelijker een verbinding aangaan met zuurstof, het zink wordt hierbij opgeofferd om het staal te beschermen. Bij een voldoende dikke laag zal zink een langdurige bescherming bieden tegen corrosie van het staal. Zelfs bij krassen in de zinkcoating zal het onderliggende staal nauwelijks corroderen.

De zinkcoating wordt doorgaans aangebracht door of onderdompelen van objecten in een bad vloeibare zink, het zogenaamde thermische verzinken. Bijvoorbeeld autobody's in de automobiellindustrie worden zo behandeld.

Een zinkcoating kan echter ook worden aangebracht doormiddel van galvaniseren. Dit is een methode waarbij men elektriciteit gebruikt om een laagje aan te brengen. Het galvaniseren wordt niet alleen toegepast bij het verzinken, maar men ook toe bij het vernikkelen of verchromen.

- **Anodische bescherming**

Toepassing van minder actief metaal zoals Tin op de staallegering is anodische bescherming. Omdat tin geen corrosief materiaal is, wordt staal beschermd doordat de aangebrachte tinlaag op het staaloppervlak is aangebracht. Anodische bescherming wordt veel gebruikt in een situatie waar kathodische bescherming niet mogelijk is. In het verleden veel in de verpakkingen van voedsel in blik. Conservenverpakkingen, zijn staal met een coating van tin en zijn beter bestand tegen water en corrosieve producten.

Corrosieremmers (Corrosie Inhibitoren)

Corrosieremmers zijn chemische stoffen die een membraan op het stalen oppervlak om het te beschermen tegen blootstelling aan de omgeving.

In gesloten leidingsystemen maakt men ook gebruik van inhibitoren, zoals onder andere in de industriële systemen van koelwater en ketelwater. Men voegt stoffen toe aan het systeem die een beschermend laagje vormen op de binnenkant van deze systemen.

Om metalen te beschermen wordt ook gebruik gemaakt van oliën, vetten en wasachtige producten. Soms toegepast als tijdelijke oppervlakte bescherming, maar ook voor langere termijn buitenopslag.

7. Corrosie onder Isolatie

In de chemische en petrochemische industrie wordt isolatie op grote schaal toegepast om energie te besparen, voor brandwerendheid en brandvertraging alsook draag het bij aan de veiligheid van werknemers omdat het bescherming biedt tegen contact met hoge temperaturen. Isolatie bij wordt toegepast om warmteverliezen te verminderen en koelinstallaties om opwarming te voorkomen.

Corrosie onder isolatie wordt in het Engels afgekort tot CUI (Corrosion Under Insulation), deze afkorting zal in dit schrijven verder worden gebezigd.

Een effectieve isolatie vereist een nagenoeg volledige inkapseling van metalen pijpen, apparaten, installaties en opslagtanks. Hierdoor verhindert isolatie echter de visuele monitoring van deze assets. CUI vormt daardoor een potentiële bedreiging voor de betrouwbaarheid van de asset. Corrosie onder isolatie (CUI) is een veel voorkomend veiligheidsprobleem, vooral in verouderde chemische fabrieken. Het kan resulteren in het vrijkomen van brandbare verbindingen, explosie en brandgevaar.

Traditioneel wordt CUI veroorzaakt doordat er vocht (water) binnendringt in de isolatie van de met isolatie omringende procesbuizen of andere assets. Het water dat naar binnendringt leidt tot de opbouw van corrosieve oplossingen op het buitenoppervlak van de geïsoleerde apparatuur. Hogere temperaturen kan bijdrage tot hogere corrosiesnelheden. Materialen die vatbaar zijn voor CUI zijn staal en rvs. Het water wat binnendringt kan zijn regenwater, proceswater, brandwater en condensatie als gevolg van omgevingsvochtigheid.

De corrosievormen die plaats vinden onder isolatie zijn bekend en er is goed inzicht in deze corrosieprocessen, maar toch blijft corrosie onder isolatie of CUI vaak onopgemerkt totdat de schade zodanig is dat het leidt tot storingen zoals lekkages, downtime en apparatuur storingen. In sommige gevallen tot zeer serieuze storingen aan hogedruk apparatuur tot zelfs aan catastrofale explosies.

Corrosie onder isolatie gedijt goed afhankelijk van de aanwezigheid van drie elementen:

- Beschikbaarheid van zuurstof.
- Hoge temperatuur.
- De concentratie van opgeloste stoffen die met het water zijn meegekomen of uit de isolatie zijn opgenomen.

Over het algemeen neemt bij een toename van de temperatuur de corrosiesnelheid af naarmate de hoeveelheid opgeloste zuurstof neemt af. Maar wanneer het bedekt is met isolatie, maakt het vocht het een gesloten systeem en houdt het de opgeloste zuurstof vast. In sommige gevallen kunnen chloriden en zuren aanwezig in de isolatie oplossen en in het onderliggende oppervlak terecht komen in de aanwezigheid van vocht zullen de oplossingen de corrosie versnellen.

De gebieden die gevoeliger zijn voor CUI zijn:

- Beschadigde isolatie.
- Gebieden die de neiging hebben om vocht vast te houden.
- Apparatuur uitstulpingen en mangaten.
- Druk veiligheidsklep
- Flenzen.

- Gebieden blootgesteld aan stoomuitlaten, proces lekkage, zure dampen.
- Gebieden waar stoomtracering lekt.
- Systemen die met tussenpozen boven de 120 °C werken.

De belangrijkste factoren die van invloed zijn op het corrosieproces onder isolatie (CUI) schade zijn:

- Frequentie en duur van de blootstelling aan vocht.
- De temperatuur.
- Type isolatie en beschermende barrièreconditie.
- Cyclische bedrijfsmodus.
- Corrosie van de omgeving.
- Het klimaat waar het systeem is geïnstalleerd.
- Nabijheid van vocht veroorzakende apparatuur zoals bijvoorbeeld koeltorens en dampuitlaten.

Het voorkomen van CUI

Corrosie onder isolatie kan worden voorkomen door ervoor te zorgen dat er geen vocht het isolatiemateriaal en stalen oppervlak binnendringt, dit kan worden bereikt door:

- Correcte selectie en ontwerp van het isolatiemateriaal.
- Goed ontwerp van het te isoleren item - het is bijvoorbeeld moeilijk om rond te isoleren flenzen, kranen, flowmeters, steunen, enz.
- Afscherming van de geïsoleerde asset tegen regenval, enz.
- Toepassing van corrosiebescherming op het staal.

Gemiddeld zal meer dan de helft van alle isolatie die langer dan 10 jaar in gebruik is vocht bevatten die in potentie corrosievorming kan veroorzaken.

Detectie van Corrosie onder isolatie

Hier worden een aantal inspectie methoden en technieken beschreven die worden toegepast bij de detectie van corrosie onder isolatie. Bedenk daarbij dat een aantal meer oriënterend zijn, met name als de inspectie wordt uitgevoerd zonder daarbij de isolatie en omkleeding te verwijderen.

Visuele inspectie

Directe fysieke inspectie is de meest voor de hand liggende methode voor het detecteren van CUI. Dat betekent het verwijderen van isolatie en het visueel inspecteren van de mogelijke corrosie gebieden. Stopzetting van de productieactiviteit is vaak een voorwaarde enerzijds omdat de temperatuur eisen van het proces niet kunnen worden gehandhaafd en anderzijds is kan de veiligheid van de medewerkers in het geding zijn m.b.t. blootstelling aan de hete oppervlakten. Tevens bestaat de mogelijkheid dat bij ernstige aangetaste gebieden product vrij kan komen met het openen van de met isolatie bedekte gebieden.

Het blootleggen van potentiële CUI-gebieden biedt wel de mogelijkheid om nader onderzoek en kwantitatieve metingen van wandverlies te verrichten.

Gepulste Wervelstroom/ Eddy Current Meting

Gepulste wervelstroom of Eddy Current meting, ook wel afgekort als de PEC-meting is een manier om stalenbuizen en vaten te onderzoeken door de isolatie en beschermende coatings. Deze technologie is een uitstekend hulpmiddel om naar aanleiding van deze metingen nadere vervolg inspecties prioriteit te geven. Het te testenobject blijft in de meerdere lagen toestand, wat betekent dat de isolatie of beschermende coatings van de buisoppervlakken niet moeten worden verwijderd, het vereist wel dat de pijp met vloeistof wordt gevuld. PEC-metingen kunnen worden beperkt door onvoldoende informatie over de magnetische en elektrische eigenschappen van elk constructiemateriaal. Het daarom noodzakelijk deze gegevens te kennen, diktes en magnetische eigenschappen van beschermende coatings en isolatie moeten bekend zijn voor nauwkeurige en betrouwbare metingen.

Neutron Backscatter

Neutron Backscatter een systeem dat is ontworpen om natte isolatie in leidingen en vaten te detecteren. Een radioactieve bron zendt hoogenergetische neutronen uit in de isolatie. Als er vocht in de isolatie zit, verzwakken de waterstofkernen de energie van de neutronen. De meetdetector van het instrument is alleen gevoelig voor neutronen met een lage energie. Het aantal dat aan de inspecteur wordt getoond, is evenredig met de hoeveelheid water in de isolatie. Lage tellingen per periode duiden op een lage vochtaanwezigheid. Deze meting is geschikt als vooronderzoek en de analyse van deze metingen kunnen gebieden aanwijzen die om nadere inspectie vragen.

Real-time radiografie

Real-time radiografie biedt de mogelijkheid om een duidelijk zicht op de buitendiameter van de leidingen door de isolatie, waardoor een silhouet van de pijpbuitendiameter (OD) op een tv-type monitor ontstaat die tijdens de inspectie wordt bekeken.

Ultrasonische diktemeting (UTM)

Ultrasonische diktemetingen maken gebruik van geluidsgolven een karakteristieke snelheid in elk materiaal. De praktische kracht van UTM ligt in het snelle scankarakter en de reactietijd. De techniek kan ook omgaan met moeilijke geometrieën en geeft nauwkeurige diktemetingen. Een van de zwakke punten van deze meting is dat de snelheid van geluid door het materiaal een functie is van temperatuur, aangezien de temperaturen overal zullen variëren de installatie, kan dit bemonsteringsproblemen met zich meebrengen. Ten tweede vereist UTM meestal direct contact tussen de transducer en de buiswand, wat betekent dat de omringende isolatie doorboord of moet worden verwijderd voorafgaand aan het verzamelen van metingen.