

## Corrosiemechanismen



wtcb.be  
Onderzoek • Getuigskunst • Informatie



### Introductie

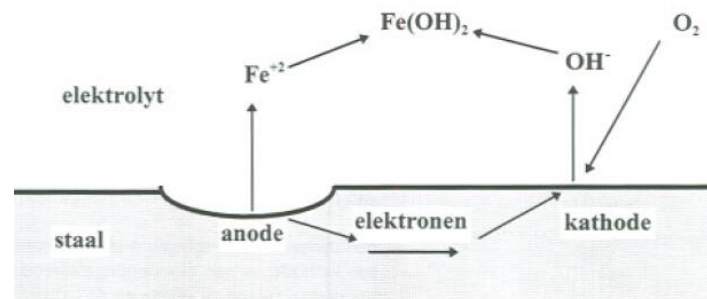
Metaalvormig ijzer heeft de neiging terug te keren naar zijn natuurlijke staat, ijzeroxide, wanneer het wordt blootgesteld aan lucht en water. Dit fenomeen, corrosie, is toe te schrijven aan de oxidatiereactie die optreedt wanneer metaalvormig ijzer terugkeert naar een energetische voorkeurstoestand.

In aanwezigheid van een elektrolyt, ofwel vocht, verloopt corrosie door elektrochemische reacties aan het blootgestelde oppervlak. Elektrochemische processen zijn alleen mogelijk door de uitwisseling van elektrische lading tussen metaal en omgeving. Bij deze uitwisseling zijn elektronen en ionen als dragers van elektrische lading betrokken. Dit vereist dat elektronen en ionen mobiel moeten zijn. De elektronen kunnen echter alleen in het metaal en de ionen alleen in een elektrolyt getransporteerd worden. Op deze manier fungeert het metaal als een elektrode, dit is een elektronen-geleidend medium, en het omringende waterige milieu als een elektrolytoplossing, dit is een ionen-geleidend medium.

Elektrochemische corrosie kan derhalve ook niet optreden wanneer een metaal zich in een elektrisch niet-geleidend medium, zoals droge lucht, bevindt. Niet alleen waterige oplossingen behoren tot elektrolyten, maar ook poreuze stoffen die voldoende vocht kunnen bevatten om een doorgaand ionen-geleidend transportweg mogelijk te maken. Hiertoe behoren alle grondsoorten, maar ook bouwmaterialen zoals cementbeton.

Ten gevolge van invloeden uit het omringende milieu ontstaan aan het metaaloppervlak plaatsen met een verschillende elektrochemische potentiaal. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen anoden en kathoden. Aan de anoden worden in het metaal elektronen geproduceerd, terwijl aan de kathoden elektronen in het metaal worden verbruikt. Een anode bezit dus een negatieve potentiaal ten opzichte van een kathode. De productie en consumptie van elektronen vindt plaats aan het grensvlak tussen metaal en elektrolyt. Hierbij worden aan de elektrolytzijde van het grensvlak ionen gevormd. Dit elektrochemische proces kan worden voorgesteld door een gesloten stroomkring waarbij de anode en de kathode respectievelijk de negatieve en positieve pool van een spanningsbron vormen. De stroom loopt via de elektrolyt van anode naar kathode en vervolgens, via het metaal, weer terug naar de anode. In het elektrolyt worden positieve ionen van de anode naar de kathode getransporteerd, terwijl negatieve ionen in de omgekeerde richting bewegen.

## Corrosiemechanismen



*Schematische voorstelling van het elektrochemische corrosieproces voor staal*

### Corrosieproces

Het corrosieproces kan worden voorgesteld in drie basisstappen:

- De vorming van ijzer-ionen uit het metaal  
 $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$
- De vorming van hydroxide-ionen uit de reactie tussen lucht en water  
 $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$
- De reactie tussen beide, positieve en negatieve, ionen, met de toevoeging van zuurstof resulterend in de vorming van ijzeroxide  
 $\text{Fe}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2$   
 $4\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O}$

Het corrosieproces wordt gekarakteriseerd door een vijftal basis stappen:

- Ionen zijn betrokken in het proces en dienen zich in een medium te kunnen verplaatsen (meestal is dit water)
- Zuurstof is betrokken in het proces en dient te kunnen worden aangevoerd
- Het metaal moet in staat zijn elektronen af te staan om het proces te kunnen starten
- Er wordt een nieuw materiaal gevormd dat ofwel verder kan reageren ofwel het oorspronkelijke metaal kan beschermen
- Een drijvende kracht is nodig om het proces te laten (blijven) verlopen

## Corrosiemechanismen



Het beïnvloeden van (één van) deze stappen laat toe om de corrosie te stoppen of tenminste aanzienlijk af te remmen.

### Ondergrondse corrosie

De levensduur en het gedrag van ondergrondse staalconstructies worden in de eerste plaats bepaald door het mechanisch ontwerp van de constructie zelf. Dit zijn onder meer de metallurgie van het staal, type en conditie van aanwezige coatings, dimensies, beweging, spanningsniveau en verdeling hiervan in de constructie en aanwezige (galvanisch) gekoppelde metalen in de constructie.

Daarnaast wordt de levensduur bepaald door de omgevingsfactoren waarin de constructie zich bevindt. Dit zijn onder meer de geo-mechanische en geo-chemische eigenschappen van het materiaal waarmee de constructie is omgeven zoals de oorspronkelijke grond en/of vulmateriaal, de topografie van de omgeving en het heersende microklimaat aan het contactoppervlak tussen de bodem en de constructie.

De voornaamste parameters van de bodem die corrosie van ondergrondse staalconstructies kunnen beïnvloeden zijn:

- Chemische samenstelling
- Opbouw en structuur
- Beluchting en zuurstofdiffusie (redoxpotentiaal)
- Grondwaterbelasting
- pH en buffercapaciteit
- Gehalte aan oplosbare zouten
- Verschillen in elektrodepotentiaal op diverse locaties
- Specifieke elektrische bodemweerstand
- Opnemen van zwerfstromen
- Inductiestromen
- Atmosferische ontladingen

De classificatie van corrosie naar verschillende verschijningsvormen kan worden gebaseerd op de chemische reacties die verantwoordelijk zijn voor corrosie. Veelal wordt echter een classificatie gemaakt naar vormen die met het blote oog herkenbaar zijn. Door deze herkenning kunnen vaak al oorzaken worden aangegeven en oplossingen worden aangedragen.

## Corrosiemechanismen



wtcb.be  
Onderzoek • Getuigskatt • Informatie



### Corrosievormen

De voornaamste vormen die in de praktijk van de ondergrondse corrosie voorkomen zijn:

- Uniforme of algemene corrosie
- Galvanische corrosie
- Spleetcorrosie
- Putcorrosie
- Spanningscorrosie
- Microbiële corrosie
- Zwerfstroomcorrosie

Deze verschillende vormen van ondergrondse corrosie worden hier kort behandeld. Microbiële corrosie en zwerfstroomcorrosie worden in specifieke infofiches uitgebreid toegelicht.

#### *Uniforme corrosie*

Deze vorm van corrosie is meestal goed voorspelbaar, omdat de oorzaak ligt in elektrochemische reacties die uniform over het oppervlak plaatsvinden. De corrosiesnelheid kan redelijk nauwkeurig worden bepaald, de wanddikte van metaal neemt langzaam egaal af totdat er niets meer over is.

Uniforme corrosie kan worden gereduceerd of voorkomen door de vijf basis stappen te beschouwen:

- Afremmen of stoppen beweging van ionen en elektronen, door
  - Het oppervlak te bedekken met een niet-geleidend medium zoals verf
  - Het reduceren van de geleidbaarheid van de oplossing in contact met het metaal
  - Het toepassen van een stroom op het materiaal (kathodische bescherming)
- Afremmen of stoppen zuurstoftoevoer naar oppervlak van het metaal
- Voorkomen dat het metaal elektronen afstaat door een meer corrosiebestendig of edeler metaal toe te passen met een hogere elektrochemische potentiaal
- Toepassen van metaal dat een oxide vormt dat beschermt en het corrosie proces doet stoppen

Uniforme corrosie maakt slechts ongeveer 30% uit van de voorkomende vormen van corrosie. De meeste andere vormen van corrosie zijn moeilijker te voorspellen. Deze treden plaatselijk op en kunnen resulteren in onverwachte schade met desastreuze gevolgen. Het reduceren of voorkomen van corrosie door de vijf basis stappen te beschouwen is vaak minder evident.

## Corrosiemechanismen



wtcbe.be  
Onderzoek • Getuigheit • Informatie



### *Galvanische corrosie*

Wanneer twee metalen met een verschillende elektrochemische potentiaal met elkaar in contact zijn, in een geleidende elektrolytoplossing, kan een versnelde aantasting van het minst edele metaal optreden. Een eerste indicatie of in een bepaalde situatie galvanische corrosie kan optreden, kan worden verkregen door te kijken naar de potentialen van metalen. Galvanische corrosie kan ook bewust worden toegepast om bepaalde metalen delen te beschermen door andere, niet-kritische, onderdelen op te offeren.

Galvanische corrosie kan worden gereduceerd of voorkomen wanneer een van volgende condities wordt geëlimineerd:

- Verbreken van het elektrisch contact tussen de verschillende metalen, bijvoorbeeld door het toepassen van een kunststof isolator of coating
- Selecteren van metalen met een zeer klein verschil in elektrochemische potentiaal
- Afremmen of stoppen beweging van ionen en elektronen, door het aanbrengen van een ondoorlatend materiaal tussen de verschillende metalen of het vermijden van een vochtige omgeving

### *Spleetcorrosie*

Wanneer twee oppervlakken van een metaal zich dicht bijeen bevinden en verschillen in de hoeveelheid van een reactieve component aanwezig aan deze oppervlakken, wordt het corrosieproces aan een van deze oppervlakken versneld. Zuurstof kan niet penetreren en er ontstaat een verschil in zuurstofconcentratie, versnelde corrosie treedt op aan het oppervlak met verlaagde zuurstofconcentratie. Meestal wordt spleetcorrosie waargenomen, daar waar zich kleine hoeveelheden stilstaande elektrolytoplossing bevinden, zoals tussen flenzen, bouten, moeren en onder corrosie producten en andere afzettingen.

Spleetcorrosie kan worden gereduceerd of voorkomen door:

- Een zodanig ontwerp dat complete afvoer van vloeistoffen mogelijk is door het voorkomen van scherpe hoeken en stilstaande vloeistof
- Het gebruik van lassen in plaats van bouten (in nieuwe constructies)

## Corrosiemechanismen



### *Putcorrosie*

Putcorrosie is een vorm van lokale corrosie die zich voordoet op die plaatsen waar een beschermende laag, coating of oxide, beschadigd is. Het blootgestelde metaal doneert gemakkelijk elektronen en het corrosieproces initieert kleine putjes in het oppervlak. Ongewenste metaaldeeltjes in het oppervlak en penetratie van chloride ionen door de beschermende laag kunnen ook putcorrosie veroorzaken, bij met name roestvast staal en koperlegeringen.

Putcorrosie kan worden vermeden door:

- Voorkomen van schade aan de natuurlijke beschermende laag van het metaal
- Voorkomen van stilstaande vloeistof of aanhechting van componenten aan het oppervlak, wanneer zuurstof vrij kan toetreden aan het oppervlak kan blijvend een beschermend oxide aan het oppervlak gevormd worden

### *Spanningscorrosie*

Spanningscorrosie is een scheurvormende corrosievorm die kan optreden onder invloed van de gelijktijdige inwerking van een corrosief medium en trekspanningen op een spanningsgevoelig metaal. Zonder de trekspanningen zou het metaal vaak niet of nauwelijks worden aangetast door hetzelfde medium. Ongelegeerd staal kan zo worden aangetast ten gevolge van de inwerking van nitraten, en niet bij blootstelling aan chloriden.

Spanningscorrosie kan worden voorkomen door een van de bepalende factoren weg te nemen waardoor per definitie deze vorm van corrosie niet kan optreden, dus te zorgen voor of een ongevoelige staalsoort, of een ongevoelig milieu, of afwezigheid van trekspanningen.

### *Microbiële corrosie*

De corrosie van metalen wordt veroorzaakt door elektrochemische reacties. Micro-organismen, zoals bacteriën, schimmels en sporen, kunnen hierop een indirect effect uitoefenen.

Door bacteriën geproduceerde biofilms aan het metaaloppervlak kunnen leiden tot de vorming van concentratieverschillen, in bijvoorbeeld zuurstof, zuurtegraad of metaalzouten, resulterend in lokale corrosievormen. Sulfaatreducerende bacteriën kunnen door sulfide vorming elektrochemische deelreacties bevorderen. Bacteriën die anorganische en organische zuren vormen kunnen, indirect, zowel metallische als anorganische materialen aantasten.

## Corrosiemechanismen



Microbiële corrosie kan worden voorkomen door:

- Voorkomen van stilstaande vloeistof of aanhechting van componenten aan het oppervlak, door regelmatig reinigen van het oppervlak en in beweging houden van het systeem
- Toepassen van biociden
- Toepassen van kathodische bescherming

### *Zwerfstroomcorrosie*

Wanneer een gelijkstroom langs een onbedoeld pad door de bodem stroomt, kan de resulterende stroom van elektronen in corrosie aan een ondergrondse staalconstructie resulteren.

Zwerfstroomcorrosie kan worden gereduceerd of geminimaliseerd door:

- Aarden van de stroombron en/of de te beschermen materiaal
- Isoleren van de stroombron en/of de te beschermen structuur
- Toepassen van opofferingsanoden
- Toepassen van kathodische bescherming

### Bronnen

B. Nimmo, G. Hinds, *Beginners guide to corrosion*, National Physical Laboratory (NPL) (2003)

J.J.W. Gulikers, *Kathodische beschermingssystemen voor stalen damwanden*, Stafafdeling Bouwspuurwerk, 2000