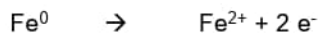


Achtergrondinformatie MIC

Corrosie is een proces waarbij materialen door hun omgeving worden aangetast. Corrosie is een wereldwijde uitdaging; meer dan een kwart van de totale staalproductie is bestemd voor de vervanging van aangetaste constructies. In veel gevallen wordt bij corrosie specifiek gerefereerd naar een elektrochemisch proces waarbij metalen in oplossing treden.

Roest is de meest bekende vorm van corrosie. Bij roest raakt ijzer aangetast door een combinatie van water en zuurstof waardoor ijzeroxide ontstaat. In de natuur komt ijzer eigenlijk altijd in geoxideerde vorm voor (Fe^{2+} en Fe^{3+}), bij verwerking wordt dit met veel energie omgezet naar Fe^0 voor gebruik in staal. Echter zal Fe^0 van nature gemakkelijk terugkeren naar haar oorspronkelijke geoxideerde vorm. Dit proces verloopt door het afstaan van elektronen via de volgende oxidatiereactie (reactie waar elektronen vrijkomen):



Het gevormde Fe^{2+} lost op en gaat de directe omgeving in; de plek waar deze reactie plaatsvindt heet de **anode**. De anode is de plaats waar corrosieschade optreedt omdat het ijzer hier vrij komt. De elektronen die vrijkomen gaan echter niet de directe omgeving in maar stromen via het metaal naar een andere locatie waar ze door een andere reactie dienen te worden opgenomen. De plek waar de elektronen worden opgenomen is de **kathode** en de reactie waarbij dit gebeurt is een reductiereactie. Als er zuurstof aanwezig is (in het geval van 'roesten') dan kan dat door middel van de volgende reactie verlopen:



Afhankelijk van de heersende omgevingscondities kunnen er verschillende reacties plaatsvinden. Onder zure omstandigheden waarbij veel H^+ ionen beschikbaar zijn, kan bijvoorbeeld de volgende reductiereactie plaatsvinden:



Bovenstaande geldt niet alleen voor ijzer, maar ook voor andere metalen en legeringen.

Corrosie van metalen betreft altijd uitwisseling van elektronen via redoxreacties. Onder de volgende omgevingscondities kan er corrosie optreden:

1. Er dient een redoxkoppel aanwezig te zijn om de oxidatiereactie en de reductiereactie te kunnen laten plaatsvinden.
2. Er dient een geleidend materiaal aanwezig te zijn om de elektronen van de anode naar de kathode te laten stromen.
3. Er dient een vloeistof (elektrolyt) aanwezig te zijn waar de gevormde ionen in kunnen oplossen en vervolgens met elkaar te kunnen reageren.

Corrosie kan in principe leiden tot volledige oplossing van een metalen object. Echter, de reactie heeft een zelf remmend effect. Door het verloop van de redoxreacties op een vast oppervlak ontstaat lokale polarisatie van het materiaal; er vindt als het ware een ophoping plaats van lading of ionen. Als deze te groot wordt kunnen de reacties niet meer verlopen en is een evenwicht bereikt.

Als het eindproduct van corrosie stabiel is kan het ook ophopen en daarmee een remmende werking hebben op het corrosieproces. Bij roestvast staal (RVS) bijvoorbeeld, ontstaat een laag van chromiumoxide. Dit is feitelijk een corrosieproduct maar omdat het stabiel is (reageert met weinig stoffen en hecht goed aan het oppervlak) stopt het de corrosiereactie nagenoeg volledig.

Microbiologische corrosie (MIC)

MIC (kort voor microbiologically influenced corrosion) is een vorm van corrosie die wordt veroorzaakt of versneld door de biologische activiteit van micro-organismen. MIC wordt geacht betrokken te zijn in ongeveer 35% van alle corrosiegevallen en kan lokaal leiden tot 10 – 100 maal hogere corrosiesnelheden. Micro-organismen kunnen het corrosieproces op verschillende manieren beïnvloeden:

1. Door het vormen van **biofilms**. Een biofilm wordt gevormd wanneer micro-organismen aan een oppervlakte hechten; vaak is dit zichtbaar als slijmlaag. Micro-organismen in een biofilm kunnen tussen- en eindproducten uitwisselen en verschillende zones creëren die voldoen aan de eisen van een bepaalde microbiële soort (bijvoorbeeld door het ontwikkelen van zuurstofvrije zones in een omgeving die zuurstofrijk is). Hierbij kunnen zeer corrosieve omstandigheden gevormd worden in een verder neutrale omgeving. Biofilms hebben als gevolg dat micro-organismen zeer persistent zijn en moeilijk te verwijderen door bijvoorbeeld chemische behandeling.
2. Door **depolarisatie** als gevolg van de activiteit van bacteriën. Zoals hierboven beschreven betreft corrosie altijd een anode en een kathode waarbij polarisatie optreedt totdat er een evenwicht is bereikt. Door het wegtrekken van gevormde producten kan voorkomen worden dat dit evenwicht bereikt wordt. Dit proces wordt ook wel depolarisatie genoemd. Kathodische depolarisatie kan biologisch optreden doordat bacteriën bijvoorbeeld waterstof consumeren dat zich aan de kathode vormt. Door de consumptie van de gevormde waterstof wordt de elektronenoverdracht vergemakkelijkt waardoor meer metaal in oplossing treedt.
3. Door productie van **corrosieve afscheidingsproducten**. Veel micro-organismen produceren, als gevolg van hun metabolisme, zuren die het metaal verder aantasten. Voorbeelden zijn organische zuren zoals vetzuren (bijvoorbeeld acetaat) of anorganische zuren (bijvoorbeeld waterstofsulfide, zwavelzuur of koolzuur).
4. Sommige micro-organismen kunnen via **directe elektronenoverdracht** zorgen voor de oxidatie (of reductie) van ijzer onder anaerobe omstandigheden (EMIC). Bij EMIC worden elektronen direct uitgewisseld met het metalen oppervlak zonder tussenkomst van metabolieten. Het materiaal wordt direct als elektronendonator of acceptor gebruikt; voor de micro-organismen een efficiënte vorm van elektronenoverdracht. Hierdoor wordt het corrosieproces plaatselijk (sterk) versneld.

Van alle MIC betrokken organismen worden de sulfaatreducerende bacteriën verondersteld de belangrijkste en meest agressieve veroorzakers te zijn. Ook van andere typen micro-organismen is bekend dat ze betrokken zijn bij MIC, zoals de anaerobe (onder de afwezigheid van zuurstof levende) ijzerreducerende bacteriën en methaan producerende archaea. Daarnaast ook de aerobe (onder de aanwezigheid van zuurstof levende) bacteriën waaronder zwavel- en ijzeroxiderende bacteriën. Hieronder wordt informatie gegeven over de groepen micro-organismen die typisch betrokken zijn bij het microbiële corrosieproces.

Sulfaatreducerende bacteriën (SRB)

Sulfaatreducerende bacteriën zijn veelal betrokken bij MIC. Deze bacteriën gebruiken sulfaat als bron van energie en produceren daarbij het giftige waterstofsulfide (H_2S). Ze kunnen ook ijzersulfides (FeS) vormen op het metalen oppervlak; deze ijzersulfide afzettingen zijn elektrisch geleidend. Deze geleidende aard vergemakkelijkt corrosiemechanismen in het algemeen en daarnaast ook MIC processen.

De sulfaatreducerende bacteriën groeien onder anaerobe omstandigheden in een omgeving die voldoende sulfaat en organisch materiaal bevat. Sulfaatreducerende bacteriën zijn in staat om het corrosieproces te beïnvloeden door indirecte of directe elektronenoverdracht.

Zwaveloxiderende bacteriën (SOB)

Zwaveloxiderende bacteriën gebruiken sulfide (S^{2-}) of zwavel (S) als bron van energie en produceren daarbij sulfaat (SO_4^{2-}). Deze groep micro-organismen beïnvloedt het corrosieproces direct door productie van zwavelzuur (H_2SO_4). Zij zijn daarmee in staat te overleven in een zuur milieu. Ze leven vaak in symbiose met de sulfaatreducerende bacteriën: de SOB consumeert sulfide dat wordt geproduceerd door SRB, terwijl de SRB het sulfaat consumeert dat wordt geproduceerd door de SOB.

IJzeroxiderende bacteriën (IOB)

IJzeroxiderende bacteriën gebruiken opgelost of gereduceerd ijzer (Fe^{2+}) als bron van energie en produceren daarbij geoxideerd ijzer (Fe^{3+}). Voor dit proces vereisen ze lage zuurstofconcentraties. Door verwijdering van Fe^{2+} van het metaaloppervlak wordt het evenwicht bij de anode verstoord, waardoor meer ijzer in oplossing gaat. Geoxideerd ijzer (Fe^{3+}) slaat neer en is zichtbaar als roestgekleurde deeltjes (veelal in een slijmerige laag van micro-organismen).

IJzerreducerende bacteriën (IRB)

IJzerreducerende bacteriën gebruiken geoxideerd ijzer (Fe^{3+}) als energiebron en produceren daarbij opgelost of gereduceerd ijzer (Fe^{2+}). Zij zijn betrokken bij het MIC proces doordat ze Fe^{2+} vrijmaken voor de IOB, en daardoor een symbiotische relatie ontstaat tussen de twee groepen (vergelijkbaar met SRB en SOB).

Methaanproducerende archaea

De methaanproducerende archaea (ook wel methanogenen genoemd) behoren tot de archaea. Ze gebruiken eenvoudige moleculen zoals CO_2 , H_2 en acetaat als energiebron en produceren daarbij methaan (CH_4). Deze organismen zijn strikt anaeroob en aanwezigheid is derhalve een goede indicatie dat een bepaalde omgeving (gedeeltelijk) anaeroob is. Omdat ze H_2 als bron van energie kunnen gebruiken, kan het evenwicht op de kathode worden verstoord, waardoor de corrosiesnelheid toeneemt. Van sommige methaanproducerende micro-organismen is beschreven dat ze naast indirect ook direct elektronen kunnen uitwisselen met metalen oppervlaktes.