

BIOFILMS IN ROESTVASTSTALEN LEIDINGEN EN INSTALLATIES

INFECTIE- EN CORROSIEGEVAAR!

Biofilm engineering is een relatief nieuwe technische discipline die de laatste jaren sterk in de belangstelling staat vanwege problematiek met ziekteverwekkers als legionella en salmonella en met corrosie. Aan de andere kant kunnen biofilms ook voordelen opleveren getuige sterke belangstelling voor de ontwikkeling van 'biofilm reactors' waarbij de micro-organismen in biofilms worden gebruikt voor de fabricage van allerlei stoffen. Vanwege corrosieproblemen en gezondheidsaspecten (Arbo) groeit de aandacht voor biofilmvorming bij de olie en gaswinning, raffinaderijen en bij de procesindustrie. Bij drinkwaterbedrijven, de voedingsmiddelenindustrie, de farmaceutische industrie en papier- en textielindustrie wordt nog meer aandacht aan het probleem besteed omdat biofilmvorming daar direct van invloed kan zijn op de kwaliteit van de eindproducten.

Naar ALURVS jan.2024 – www.electropolish.be

Verbeter corrosieweerstand en reinigbaarheid van RVS met elektropolijsten of amorfiseren.

GESCHIEDENIS

De aanwezigheid van biofilms in drinkwatersystemen is bekend sinds 1930 toen werd opgemerkt dat 'bacterium coli' zich via een leidingwand kon verplaatsen. Het duurde echter nog 7 jaar voordat werd bewezen dat microben in staat zijn om zich op een substraat zoals staal of roestvast staal te vermeerderen. Toch is pas in de zeventiger jaren van de vorige eeuw onderkend dat bijvoorbeeld in drinkwatersystemen biofilms een ernstig gezondheidsprobleem kunnen veroorzaken. En zelfs nu zorgen biofilms vaak nog voor verrassingen getuige bijvoorbeeld de recente problemen met legionella in Europa. 'Biofilms' (Characklis & Marshall, 1990) was het eerste interdisciplinaire onderzoek waaruit zich een duidelijk inzicht vormde betreffende de biologische en chemische reacties, het transport door de biofilm en afscheidingsproducten van de micro-organismen. Een biofilm is een complex geheel dat niet alleen bacteriën maar ook algen, gist, virussen en andersoortige micro organismen kan bevatten.

BIOFILMVORMING

Als water door een leiding stroomt, adsorberen organische en inorganische deeltjes zich op het oppervlak waarna micro-organismen zoals bacteriën, gist en algen kunnen volgen. Micro-organismen op een leidingwand kunnen zich op twee manieren gedragen:

Ze zijn niet in staat om zich te vermenigvuldigen, of de film die aan het ontstaan is, is dusdanig zwak dat ze wegspoelt met het stromende water.

De micro-organismen kunnen zich vermenigvuldigen omdat voldoende voedingsstoffen aanwezig zijn. De biofilm bereikt een bepaalde dikte, afhankelijk van de sterkte van de film, de hechting van de film op het substraat en de stromingscondities in de leiding. Meestal begint een biofilm met een laag bacteriën waarna condities worden gecreëerd voor andere bacteriën en of algen en of gist etc.

De **structuur** van biofilms is zeer divers en is ook moeilijk eenduidig te beschrijven vanwege de aanwezigheid van allerlei andere stoffen dan micro-organismen in de biofilm, zoals corrosieproducten en scale evenals afscheidingsproducten van de biofilm zelf (afbeelding 1). Vaak bestaat een biofilm uit meerdere lagen micro organismen, waarbij bijvoorbeeld anaerobe bacteriën zoals sulfaatreducerende bacteriën onder aerobe bacteriën zitten. Dit impliceert dat het onzin is om te stellen dat een anaerobe bacterie niet in een aeroob milieu zoals drinkwater of oppervlaktewater voor kan komen.



Afbeelding 1 Biofilmvorming binnen drie dagen op roestvaststalen probeselement van het PS-Biofilm monitoring systeem (zie afbeelding 5). Diameter probe: 8 mm.

Foto: www.corrosie.nl

Factoren die de vorming van biofilms beïnvloeden zijn:

- Aanwezigheid van voedingsstoffen, bijvoorbeeld sulfaten voor sulfaatreducerende bacteriën. De temperatuur; bij hogere temperatuur groeit de biofilm (veel) harder, echter boven de 60°C
- verdwijnt de biofilm.
- De stromingscondities in de leiding. Hoe hoger de stroming of hoe meer turbulentie, hoe
- kleiner de kans op biofilmproblemen.
- Het gebruik van desinfectiemiddelen. Hierbij moet worden opgemerkt dat een biofilm veel
- moeilijker te verwijderen is dan micro-organismen die los in het water zweven.

BIOFILM ALS ZIEKTEVERWEKKER

In de biofilm kunnen zich allerlei ziekteverwekkers ontwikkelen.

Drie voorbeelden:

Escherichia coli

Escherichia coli (E-coli) zijn bacillen die in het systeem terecht kunnen komen als het is geïnfecteerd met menselijke of dierlijke resten.

Salmonella

Salmonellas worden gezien als een van de belangrijkste ziekteverwekkers in Europa. Infectie met de anaerobe salmonella gaat gepaard met koorts, hoofdpijn, hoesten en overgeven. De incubatieperiode, die in uitzonderlijke gevallen dodelijk kan aflopen, is 7-28 dagen. Op roestvast staal kan salmonella een dichte biofilm vormen, hoewel de oppervlakteruwheid een grote rol speelt. Hoe gladder het oppervlak, hoe kleiner de kans op biofilmvorming [1]

Legionella spp

Legionella werd het eerst in 1976 beschreven toen 182 oud-legionairs tijdens een reünie werden geïnfecteerd door deze bacil. Legionella is een aerobe bacil die optimaal groeit bij 35°C.

Legionellose is de ziekte die wordt veroorzaakt door legionella en recent zijn verschillende uitbraken opgetreden over heel Europa, waarbij een aantal Nederlandse gevallen uitgebreid in de publiciteit zijn geweest.

Legionella is vooral schadelijk als het met aerosolen wordt ingeademd zoals bij het douchen of in de buurt van een fontein. Een gevaarlijke situatie ontstaat als iemand doucht terwijl een stuk legionellahoudende biofilm loslaat van een leidingwand en de bacillen snel door de douchekop over de lucht verspreid kunnen worden.

Een legionellahoudende biofilm wordt onschadelijk gemaakt met een sterk desinfectiemiddel (zoals hypochloriet) of door de leidingen met heet water te spoelen. Om die reden treedt besmetting vooral op bij 'dode' eind leidingen omdat hier geen doorstroming met heet water plaatsvindt. Legionella is ook een probleem bij veel koelwatersystemen omdat die vaak opereren bij voor legionella ideale temperatuur (35°C).

BIOFILM ALS VEROORZAKER VAN CORROSIE

Microbiologische corrosie

Microbiologische corrosie kan worden veroorzaakt door een groot aantal typen bacteriën en het komt vaak voor in waterige milieus, in het bijzonder koelwatersystemen. Echter ook in andere omgeving kan het verschijnsel voorkomen, bijvoorbeeld in olieopslagtanks en zelfs in kerosinetanks van vliegtuigen. Microbiologische corrosie wordt geconstateerd bij vele legeringen zoals staal, gietijzer, koperlegeringen, roestvast staal, aluminium en nikkel en ook bij niet-metalen zoals beton. De problemen bij microbiologische corrosie zijn vooral aanwezig als zich op het oppervlak een zogenaamde biofilm vormt.

Microbiologische corrosie kan worden onderverdeeld in **drie corrosiemechanismen**:

- Kathodische depolarisatie

De bacteriën gebruiken indirect het waterstof dat zich aan de kathode vormt, waardoor ze de galvanische cel verder activeren omdat de kathodische reactie wordt vergemakkelijkt.

Bijvoorbeeld: Bij corrosie door sulfaatreducerende bacteriën vormen de bacteriën uit sulfaat (SO_4^{2-}) sulfide (S^{2-}) en zuurstof [40]. Het zuurstof bindt zich met het waterstof [H] aan de kathode tot H_2O . Hierdoor komt ruimte vrij voor een nieuwe kathodische reactie ($\text{H}^+ + \text{e}^- \rightarrow [\text{H}]$).

- Aantasting door afscheidingsproducten

De bacteriën produceren agressieve stoffen zoals sulfide, zwavelzuur, salpeterzuur of organische zuren. Deze stoffen tasten het metaal of andere materialen zoals beton aan. Dit verschijnsel komt bijvoorbeeld voor in rioleringsystemen.

- Vorming van electrochemische cellen

De bacteriën vormen een laag op het oppervlak, de biofilm. Onder en naast deze laag kunnen grote verschillen zijn in beluchtingsgraad, zoutconcentratie, zuurconcentratie, enzovoort. Hierdoor ontstaan lokale electrochemische cellen. Bij verschillen in zuurstofconcentratie worden dit beluchtingscellen genoemd.

Naast deze drie directe invloeden van bacteriën op corrosie zijn er ook nog **indirecte invloeden**:

- Degradatie van een coatinglaag t.g.v. de activiteit van bacteriën (voornamelijk de afscheidingsproducten).
- Het afbreken van inhibitoren door bacteriën.

De bacteriën kunnen worden verdeeld in twee groepen: De anaerobe en aerobe bacteriën. De **aerobe** bacteriën zijn actief in een zuurstofhoudende omgeving en de **anaerobe** bacteriën in een zuurstofarme of zuurstofvrije omgeving. Overigens kunnen in een biofilm gelijktijdig aerobe als anaerobe bacteriën actief zijn. De aerobe bacteriën zitten aan de waterzijde en gebruiken de zuurstof zodat de anaerobe bacteriën aan de metaalzijde kunnen gedijen. De onderstaande tabel geeft enkele voorbeelden van micro-organismen die worden geassocieerd met microbiologische corrosie.

Micro-organisme	Vereisten voor groei	Corrosiemechanisme
Algemene aerobe organismen zoals aerobacter en gist	Organisch koolstof, fosfor, stikstof, sporenelementen	Beluchttingsverschillen
Algemene anaerobe micro-organismen	Organisch koolstof, fosfor, stikstof, sporenelementen	Produceren corrosieve organische zuren
Ijzeroxiderende bacteriën	CO ₂ , zuurstof, ijzer, stikstof, fosfor en sporenelementen	Oxideren Fe ²⁺ naar Fe ³⁺ , Fe ³⁺ is corrosief
Nitrietoxiderende bacteriën	Organisch koolstof, nitriet, bv. nitriet-houdende corrosie-inhibitoren	Beluchttingsverschillen
Nitraatreducerende bacteriën	Nitraat, water, koolwaterstoffen, stikstofverbindingen en fosfor-verbindingen	Beluchttingsverschillen
Zwaveloxiderende bacteriën	Water, sulfides, zwavel, kooldioxide, stikstof en fosfor	Produceren tot 10% zwavelzuur. Ook uiterst corrosief voor beton. Komt veel voor in afvalwaterzuiveringsinstallaties.
Sulfaatreducerende bacteriën	Sulfaten, organisch koolstof	Zeer corrosief, ook voor roestvast staal (putcorrosie). Produceren grote hoeveelheden sulfide die reageren tot metaalsulfide.

CORROSIE DOOR SULFAATREDUCERENDE BACTERIËN

Bacteriën zijn de primaire component in de meeste biofilms. De belangrijkste en een van de meest corrosieve voor wat betreft microbiologisch geïnitieerde corrosie is de groep sulfaatreducerende bacteriën (srb's).

Srb's zijn anaerobe bacteriën die hun koolstof onttrekken van organische voedingsstoffen en sulfaat gebruiken als dectronen acceptor, hierbij sulfide (S²⁻) vormend. Srb's zitten diep in biofilms waar de anaerobe condities optimaal zijn. Srb-activiteit is goed te ruiken vanwege de productie van het naar rotte eieren stinkende waterstofsulfidegas. De eveneens zeer corrosieve zwavelzuurproducerende zwaveloxiderende bacteriën worden vaak in combinatie met sulfaatreducerende bacteriën aangetroffen.

Afbeelding 1 toont een biofilm op een roestvast staal 316L biofilmprobe-segment uit het 'PSBiofilm' monitoring systeem'.

Op afbeelding 2 is een sulfaatreducerende bacteriën houdende biofilm in een roestvaststalen waterleiding te zien. Deze biofilm had zich binnen enkele weken ontwikkeld doordat een kleine hoeveelheid verontreinigd slib werd ingenomen. In dit geval kregen de bacteriën het voor elkaar om binnen drie maanden lekkage in een 2mm wand te veroorzaken.



Afbeelding 2 Sulfaatreducerende bacteriën houdende biofilm in een roestvaststalen waterleiding. Foto: www.corrosie.nl

Afbeelding 3 laat een lekkage t.g.v. srb-corrosie in hetzelfde systeem zien. De meeste lekken zitten op 6 uur, echter, dit is zeker geen regel. Lekkages kwamen over de gehele omtrek voor.



Afbeelding 3 Lekkage in een roestvaststalen waterleiding ten gevolge van corrosie die is geïnitieerd door srb's. Foto: www.corrosie.nl



Afbeelding 4 Inwendige van corroderende waterleiding. Let op de roestpokken die zich vooral rond de 6 uur positie bevinden. Foto: www.corrosie.nl

Bij nadere inspectie aan de binnenzijde bleek dat de wand vol zat met roestpokken (afbeelding 4), een typerend kenmerk voor corrosie van roestvast staal door srb's. Onder de pokken zit een corrosieput die wordt omgeven door een cirkelvormig helder blinkend roestvaststalen oppervlak met daaromheen een bruine ring, een tweede kenmerk voor corrosie van roestvast staal door sulfaatreducerende bacteriën. Dit verschijnsel wordt veroorzaakt door de lage zuurgraad onder de pokken waardoor het ijzer opgelost blijft totdat het buiten de pok neerslaat, aldus een bruine ring vormend. Met analyse van de roestproducten kan srb-activiteiten worden bewezen omdat in dat geval een hoge zwavelconcentratie in de roest moet worden gemeten (aanwezigheid van ijzersulfide). Een snelle en efficiënte methode hiervoor is gebruikmaking van een dectronenmicroscop met EDX analyseapparatuur.

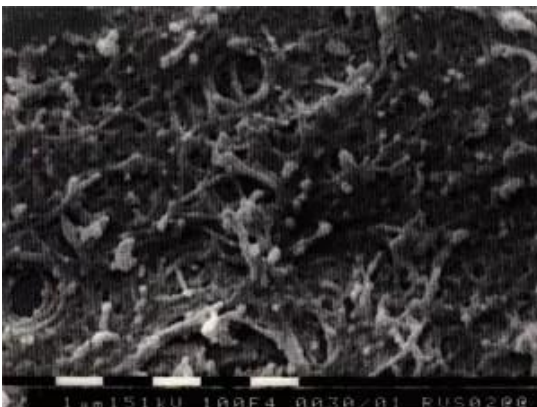
DETECTIE EN MONITOREN VAN BIOFILMS

Een biofilm op een roestvaststalen of andere leiding is vaak goed te herkennen, of beter gezegd te voelen, als een slijmerig laagje. De dikte kan variëren van enkele honderdsten millimeters tot enkele millimeters. Bij stilstaand water kan de laag nog dikker worden en kan een leiding zelfs geheel dichtgroeien. De film kan alle kleuren aannemen, van wit tot bruin, blauw, groen, rood en zwart tot transparant. Met het PS-Biofilm monitoring systeem (afbeelding 5) kan een biofilm goed worden gevolgd.

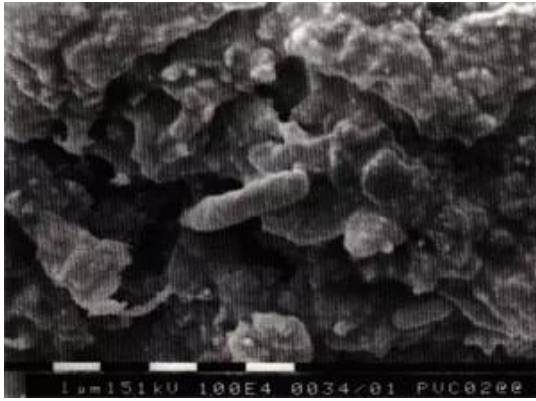


Afbeelding 5 Multiple Monitoring Systeem van PS-Biofilm. Een combinatie van probes voor biofilm monitoring, corrosie monitoring en sealing monitoring. De probes bevinden zich in glazen buizen (rvs buizen voor hoge-druktoepassing) waardoor het water stroomt volgens een instelbaar laminair stromingspatroon. Het meest toegepaste industriële veldmeetsysteem voor koelwater en andere watertypen. Afbeelding 1 toont een biofilm op een probe-segment uit dit systeem. De biofilm wordt visueel en of electrachemisch gemonitord. Bij electrachemische monitoring wordt een beginnende biofilm al binnen enkele uren gedetecteerd. Foto: www.corrosie.nl.

Vaak is al na 1 dag de biofilmvorming met het blote oog te zien. Ook kan met het PS-Biofilmsysteem in combinatie met electrochemische meetapparatuur vorming van een biofilm in een vroeg stadium elektronisch worden gedetecteerd. Dit signaal kan worden gebruikt voor het aansturen van een biocidepomp. Met het bypass systeem van PS-Biofilm kunnen ook eenvoudig samples worden getrokken welke bijvoorbeeld worden onderzocht onder de SEM (afbeelding 1, 6 en 7) of door ze op kweek te zetten (afbeelding 8). Een groot voordeel van het PS-Biofilmsysteem is dat ten gevolge van de constructie van het systeem het stromingspatroon in een leiding goed kan worden nagebootst. Voor veel toepassingen, waaronder srb-detectie, zijn handige 'ready to use' kits op de markt (afbeelding 8).



Afbeelding 6 Rasterelektronenmicroscop-opname van een biofilm op een roestvaststalen wand. Vergroting: 10.000 x. Foto: www.corrosie.nl



Afbeelding 7 Foto 5: Rasterelektronenmicroscopie-opname van een biofilm op een roestvaststalen wand. Vergroting: 10.000 x. De 'cocon' die op het midden van de foto te zien is, is een micro-organisme dat zich omhult heeft met zijn eigen product, een slijm laag. Foto: www.corrosie.nl



Afbeelding 8 'Instant' test voor het kwantitatief aantonen van sulfaatreducerende bacteriën in water. Het aantal dagen dat het duurt totdat de bodem of de onderkant van het witte balletje zwart wordt, bepaalt de hoeveelheid srbs. <2 dagen: zeer agressief, >8 dagen: niet agressief. Foto: www.corrosie.nl

BESTRIJDING EN PREVENTIE

Bestrijding en preventie van biofilms is niet eenvoudig. Het is veel moeilijker om een biofilm effectief te verwijderen dan alleen water te steriliseren. Dit komt doordat de bovenste laag van een biofilm een zekere resistentie kan ontwikkelen tegen een biocide waardoor de zich daaronder bevindende organismen worden beschermd. Om deze reden is monitoren tijdens waterbehandeling van groot belang. Ook het vaststellen met welk type biofilm men te maken heeft is essentieel voor een optimale waterbehandeling.

Bij de behandeling moet ook rekening worden gehouden met de stromingscondities. In dode einden zijn biofilms uiterst moeilijk effectief aan te pakken terwijl bij turbulente stroming een biofilm relatief eenvoudig kan worden verwijderd. Bij het ontwerp van een installatie moet met de volgende aspecten rekening worden gehouden.

- Stromingscondities. Bij snelle stroming of turbulentie is er minder kans op biofilmvorming.
- Watersamenstelling. Bevat het water voedingsstoffen voor de biofilm?
- Temperatuur. Boven 60°C vormt zich geen biofilm. Met name tussen 25 en 40°C kan zich gemakkelijk en snel een biofilm vormen.
- Waterbehandeling wel of niet noodzakelijk en mogelijk? Er zijn vele tientallen middelen en methodes voor desinfectie of biofilmbestrijding. Een goedkoop en effectief desinfectiemiddel is natriumhypochloriet (chloorbleekloos), echter bij onjuist gebruik kan dit bijzonder corrosief zijn voor roestvast staal. Let dus op concentratie, contacttijd, pH-waarde en temperatuur.
- Oppervlaktegesteldheid. Hoe gladder het oppervlak, hoe minder kans op biofilmvorming.

BESTRIJDEN EN VOORKOMEN VAN BIOFILM EN FOULING

Onderzoek aan KUL en praktijksituaties hebben uitgewezen dat **elektropolijsten** en **amorfiseren** van RVS, het optreden van biofilm en fouling kunnen verhinderen of verkleinen.

Literatuur

- 1 Korher et al: Substream topography influences susceptibility of salmonella enteritidis biofilms to trisodium phosphate. Appl. Environ. Microbiol., 63, 3352.
- 2 Steve L. Percival et al.: Microbiological Aspects of Biofilms and Drinking Water. Book. ISBN 0-8493- 0590-X. CLL Press LLC, 2000. ;
- 3 James D. Bryers: Biofilms II, Book, ISBN 0-471- 29656-2. John Wiley and Sons, New York. 2000.

Verbeter uw RVS oppervlak met Packo Surface Treatment

PACKO AFWERKINGEN



- **Micro-Ondulatie:** Aanbrengen van afgeronde golfstructuur. Resulteert in "luchtlaag" tussen wand en product.
- **Amorfiseren:** Soort "verglazen" van het oppervlak. Volledig gesloten structuur. Blijft metaal zelf. Schilfert niet.
- **Elektropolijsten:** Elektrochemisch selectief ijzer oplossen om hoge Cr/Ni samenstelling aan oppervlak te bekomen.
- **Ontzwarten:** Oplossen van bepaalde oppervlakte-elementen die bepaalde voeding/farma-producten zwart laten verkleuren.
- **Beitsen / Passiveren:** Bekende techniek om lasverkleuringen en roest te verwijderen.
- **Parelstralen:** Stralen van oppervlak met "inerte" media.
- **Anti-kleef afwerking:** Combinatie van behandelingen in functie van toepassingen.
- **Bacteriewerende finish:** Combinatie van behandelingen in functie van toepassingen.
- **Micro-ontbramen:** Onzuiverheden, schuurbramen en metaalschilfers oplossen zodat deze niet in product terecht komen en er een gladder oppervlak ontstaat.
- **Ontschilferen:** Onzuiverheden en ingedrukte metaalschilfers oplossen zodat deze niet in product terecht komen en er een meer zuiver oppervlak ontstaat.
- **Afwerking lage wrijvingscoëfficiënt:** Combinatie van behandelingen in functie van toepassingen.
- **Corrosiewering:** Combinatie van behandelingen in functie van toepassingen.
- **E-polidur harden:** Herschikken van oppervlaktestructuur zodat een hardere en slijtvastere laag ontstaat.
- **Revisie, Polijstwerk, Ra:** Herstellen van gebruikt materiaal.
- **Derouging:** Verwijderen en voorkomen van een specifieke corrosievorm
- **Advies en metingen:** Studies van hygiënische, reinigings-, aankleef-, corrosie-situaties in functie van oppervlak en afwerking.

- HOE:

De meeste behandelingen zijn dompelprocessen. Opdrachtgever dient voor goede leegloop en/of vloeistofdichtheid te zorgen. We leggen geen lagen, er blijft dus geen vreemd product op het RVS achter.

A VERDER COMPANY

Packo Surface Treatment

Cardijnlaan 10

B-8600 Diksmuide

T +32 (0)51 51 92 84

surface.packo.be@verder.com www.electropolish.be