STOOMplatform
branchevereniging voor stoom

Corrosie in stoomketels

Praktijkvoorbeelden

Auteur: Paul van Berkum – Standard Fasel
Deze publicatie is mede tot stand gekomen door de kenniscommissieleden van het Stoomplatform.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt worden in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch of door fotokopieën, opname, of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het Stoomplatform.

© 2019 Stoomplatform | www.stoomplatform.nl

Inhoud

Introductie 5

1. Typen stoomketels voor de industrie 6
2. Ontstaan van corrosie 8
3. Voorkomen van corrosie 9
4. Corrosiesoorten in de praktijk 11
5. Nawoord 20

Introductie

Corrosie in stoomketels. Praktijkvoorbeelden.

Industriële stoomketels zijn er in alle soorten en maten en drukken. Van bakkersketeltjes met een inhoud van 200 liter en een druk van 0,5 bar tot ketels voor energiecentrales met drukken boven 270 bar en vermogens van 1100 MW, genoeg om een hele provincie van elektriciteit te voorzien. Het doel van een stoomketel is in alle gevallen hetzelfde, men maakt van water waterdamp ofwel stoom. De toepassing van stoom is zeer divers. In de industrie wordt stoom voor energieopwekking gebruikt maar veelal om processen te verwarmen. Stoom treft men overwegend aan in de procesindustrie maar ook in ziekenhuizen voor ondere de sterilisatie en de luchtbehandeling. Vooraal in onderstaande industrietakken wordt stoom veelvuldig toegepast:

- *Chemie en Petrochemie*
- *Karton- en papierfabrieken*
- *Voedingsmiddelenindustrie, zoals zuivelfabrieken,*
- *diervoederfabrieken, conservenfabrieken,*
- *bierbrouwerijen en aardappel verwerkende industrie*
- *Ziekenhuizen, pharmacie*
- *Steen- en kalkzandsteenfabrieken*
- *Glasfabrieken*
- *Wasserijen, tuinbouw*
- *Rubberindustrie*
- *Vuilverbranding*
- *Slibverwerkingsbedrijven*

Enz.

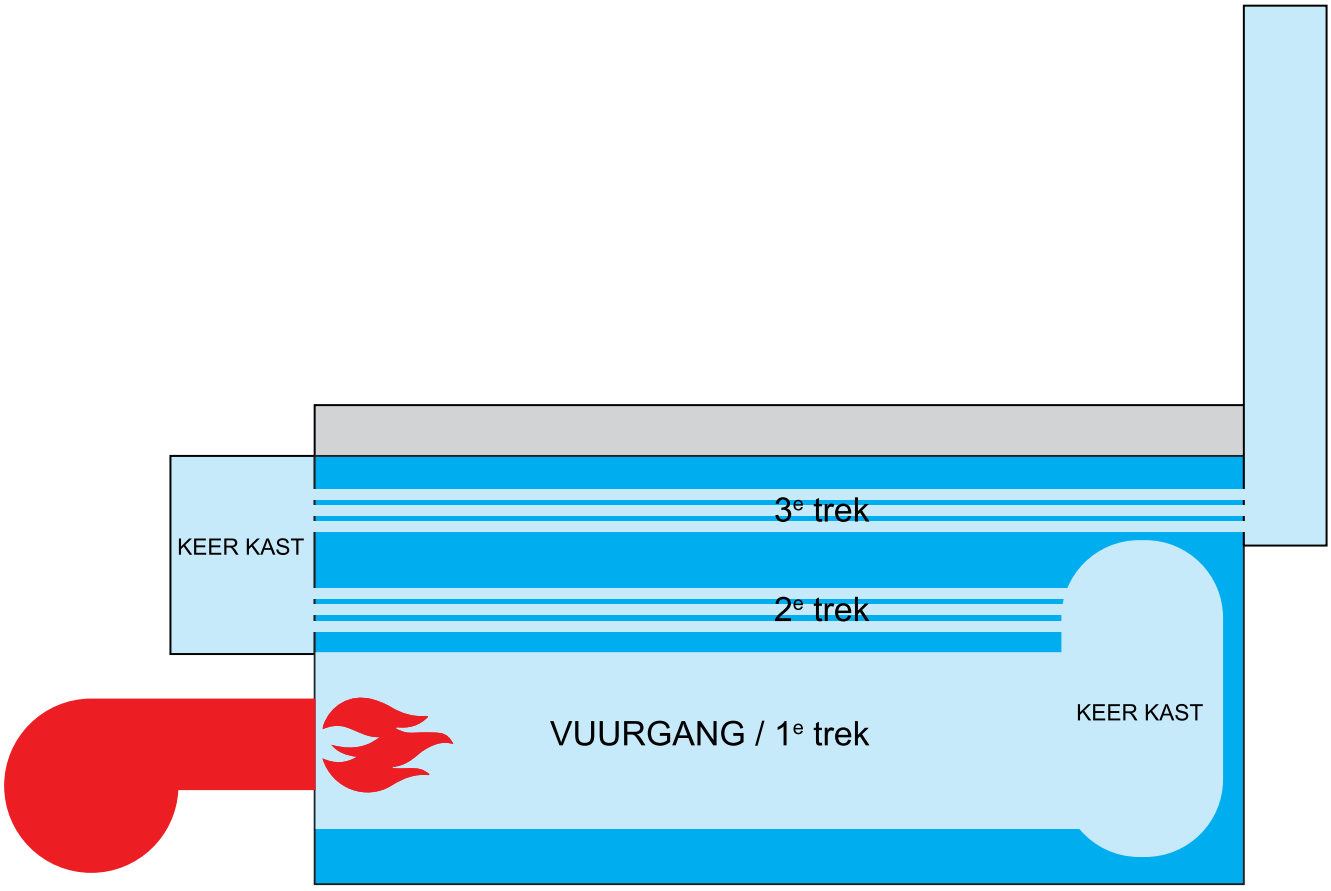
Stoomketels vindt je dus op talloze plaatsen in de industrie. Het principe is veelal hetzelfde: met verbrandingsenergie wordt stoom opgewekt. Dit proces van hoge temperaturen, water en gassen, die zich in een koolstofstalen ketel bevinden, is een ideaal milieu voor corrosie. Zo treedt er dan ook in vele installaties corrosie in het drukdeel op en in de praktijdk komt men vrijwel overal dezelfde problematiek tegen. In deze publicatie behandelen we corrosie die optreedt in het drukdeel van de ketel en laten we zien hoe corrosie is te herkennen en te voorkomen.

1. Typen stoomketels voor de industrie

Globaal kunnen we twee hoofdtypen stoomketels onderscheiden: Cilindrische stoomketels ook wel vlampijpketels genaamd en waterpijpketels. Hierbij treft u een korte omschrijving van beide types.

Cilindrische stoomketels

Bij cilindrische stoomketels bevindt zich het ketelwater rond de vuurgang en de vlampijpen. De ketel is voor 80% gevuld met water en voor 20% gevuld met stoom. Deze ketels worden toegepast tot drukken van ca. 30 bar en een vermogen om 60.000 liter water per uur te verdampen dus om 60 ton stoom te kunnen produceren. Een veel voorkomende cilindrische stoomketel is de drietreks vuurgang vlampijpketel. Hieronder in afbeelding 1 treft u een schematische weergave aan.

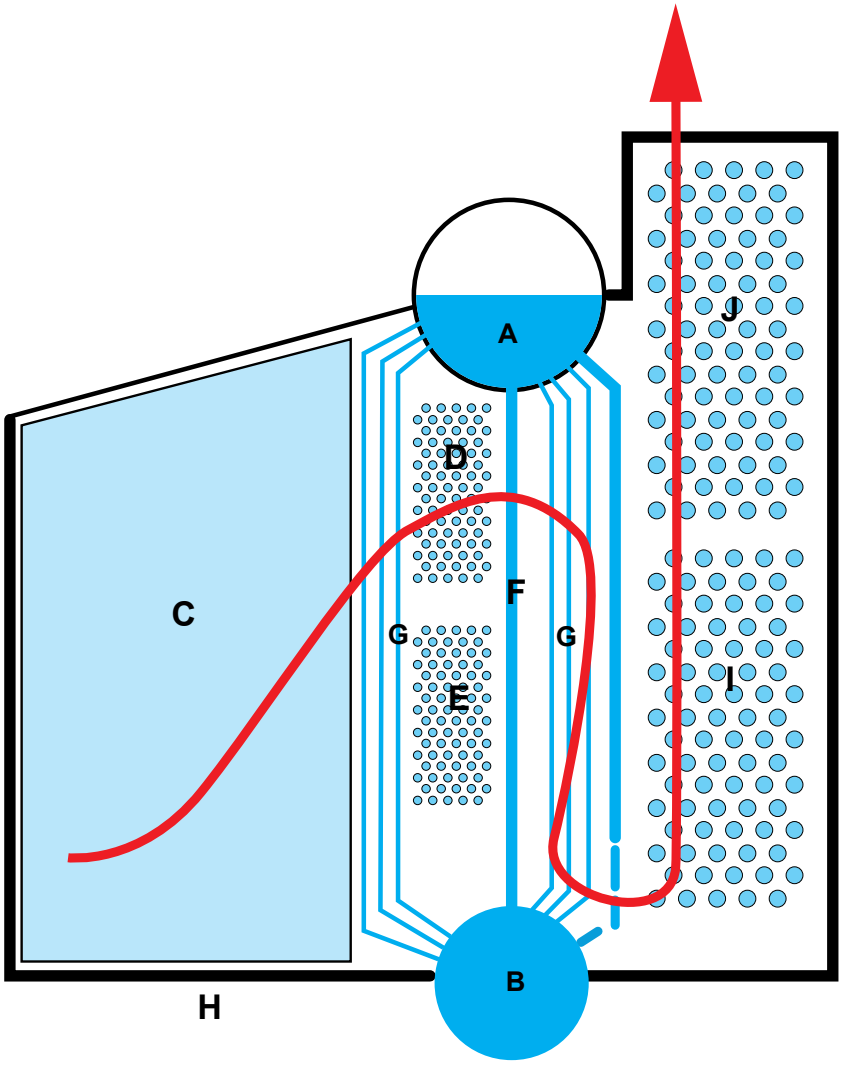


Afbeelding 1: schematische weergave van een cilindrische ketel, een drietreks vuurgang vlampijpketel.

Waterpijpketels

Bij waterpijpketels bevindt zich het water en de stoom in de pijpen en de hete gassen en vlammen om de pijpen. Het water wordt verdampt in de pijpen tot stoom welke in de stoomdruk wordt verzameld.

In afbeelding 2 wordt een schematische weergave van een waterpijpketel getoond.



A. Stoomdrum
B. Waterdrum
C. Vuurhaard met membraanwand
D. Eerste OVO
E. Tweede OVO
F. Valpijp
G. Verdamper
H. Watercollector
I. Eerste eco
J. Tweede eco

Afbeelding 2: schematische weergave van een waterpijpketel.

2. Ontstaan van corrosie

Corrosie vormt zich omdat alle stoomketels van koolstofstaal zijn gemaakt. In combinatie met onbehandeld water ontstaat er corrosie aan de waterzijde. Corrosie heeft lekkage tot gevolg en kan zelfs leiden tot gevaarlijke situaties.

Waterzijde

Aan de waterzijde heerst een hoge druk en temperatuur. Komt dit water onder druk in contact met de buitenlucht dan vormt zich direct stoom. Indien in zo'n situatie 1 liter water vrijkomt in de atmosfeer dan wordt er binnen een fractie van een seconden 1600 liter stoom gevormd. Deze enorme volumetoename kan zelfs een explosie tot gevolg hebben. Vanwege dit gevaar is er van overheidswege toezicht op het gebruik van stoomketels. Vroeger werd het toezicht uitgevoerd door het Stoomwezen en tegenwoordig door een bevoegde keuringsinstantie (NL-CBI). Bij schade zijn er kosten voor reparatie en daarnaast ook kosten voor productieverlies. In veel gevallen is de stoomketel het hart van het bedrijf. Is een stoomketel buiten bedrijf dan kan er meestal niet meer geproduceerd worden. De meest kritische delen bij cilindrische ketels zijn de vlampijpen en bij waterpijpketels de waterpijpen. De wanddikte van de romp of stoomdrum van stoomketels is 20 tot 50 mm dik. De wanden van vlampijpen en waterpijpen zijn ca. 3 mm dik. De pijpen in warmtewisselaars zijn vaak maar 2 mm dik. Als hier aan het oppervlak corrosie optreedt ontstaat al snel lekkage.

Rookgaszijde

Corrosie kan ook aan de rookgaszijde (brander zijde) ontstaan wanneer de rookgassen dermate afkoelen dat deze onder het dauwpunt komen. Het gevormde condensaat heeft een zuur karakter en wanneer er ook nog zwaveldeeltjes in de brandstof aanwezig zijn kan er zwavelzuur ontstaan wat het corrosieproces kan verergeren en zelfs versnellen. De delen in de lage temperatuurzone waar men condensvorming kan verwachten, bijvoorbeeld de condensor in het rookgaskanaal na de brander, zijn dan ook van roestvast staal gemaakt.

3. Voorkomen van corrosie

Er zijn een aantal aandachtspunten waar men rekening mee dient te houden om corrosie tot een minimum te beperken. Hieronder worden enkele aandachtspunten opgevoerd.

A. *In de ontwerpfase al rekening houden met eventuele corrosie. Dit kan door;*
- *de juiste materiaalkeuze*
- *zorgen dat de doorstroomsnelheden niet te hoog zijn*
- *een corrosietoeslag in de ontwerpberekeningen op te nemen.*

B. *Goede waterbehandeling toe te passen in de totale installatie. De in het water aanwezige zuurstof 'chemisch binden' of 'thermisch ontgassen'. **

C. *Als de ketel voor langere tijd niet gebruikt wordt voor een goede conservering te zorgen.*

D. *De ketel dusdanig bedrijven dat er geen rookgassen kunnen condenseren. In de praktijk ziet men vaak dat branders worden omgebouwd. om alternatieve brandstoffen te kunnen verstoken en of naast aardgas te kunnen meestoken. Men wil dan vetten, plantaardige oliën, biogas of andere stoffen mee verstoken. In deze brandstoffen zitten vaak bestanddelen die, wanneer ze met vocht in aanraking komen, corrosie kunnen veroorzaken.*

**** Item B vereist nadere toelichting.***

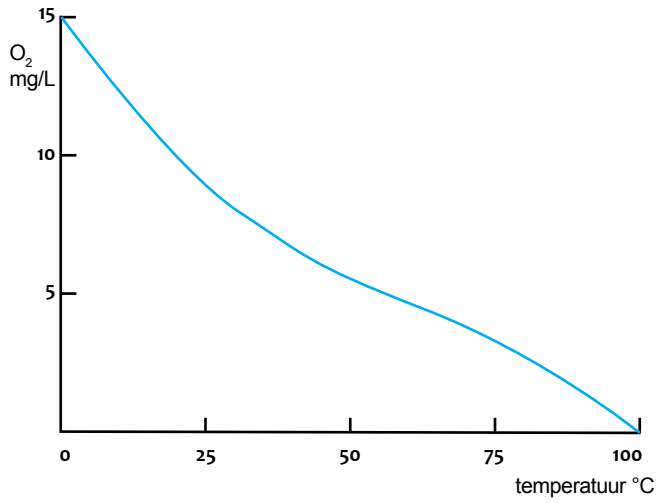
Zuurstof aan de waterzijde is veelal oorzaak van schade, meestal lekke vlampijpen. Een goede conditionering van het voedingswater dat in de ketel gepompt wordt is daarom van het grootste belang.

De conditionering van het ketelwater

Het ketelwater dient goed geconditioneerd te worden. Wat betekent dit en waarom moeten we voor een goede conditionering zorgdragen? Hier volgen drie belangrijke aandachtspunten.

A. Voorkom ketelsteen of andere afzetting.

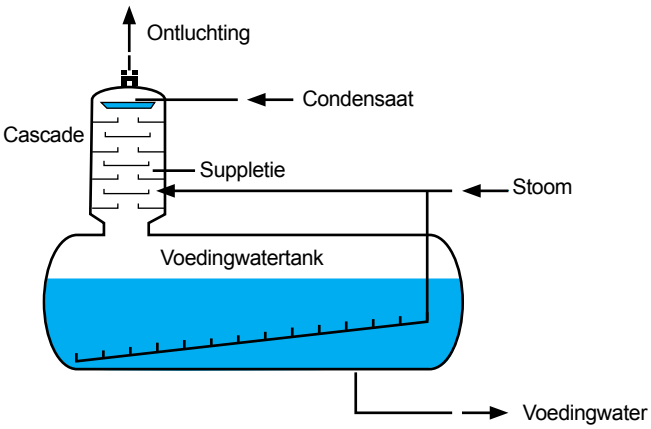
Door conditionering wordt voorkomen dat er ketelsteen of andere afzettingen gevormd worden, door het ketelwater te ontijzeren en te ontharden. Dit proces gebeurt veelal met filters, ionenwisselaars of reverse osmose apparatuur.



Grafiek 1: Oplosbaarheid van water in relatie tot de water temperatuur.

B. Voorkomen van zuurstofrijk water in de ketel.
Door conditionering wordt voorkomen dat er zuurstofrijk water in de ketel terecht komt. In het verleden werden hiervoor chemicaliën aan het water toegevoegd. Dit kan een dure aangelegenheid en milieubelastend zijn. Tegenwoordig wordt meestal een voedinswaterontgasser toegepast voor het ontgassen van het voedingswater. Het principe van deze toestellen is, dat naarmate de temperatuur van het water toeneemt, de oplosbaarheid van zuurstof in het water afneemt. Boven 100°C kan er geen zuurstof meer door het water worden opgenomen. Om zuurstof uit het water te verwijderen maakt men dus gebruik van een ontgasser. In afbeelding 3 wordt een schematische weergave van een ontgasser getoond.

Het water komt als kleine druppels via een sproeier of schotels in de stoomruimte. Bij een lagedruk ontgasser heerst hier een temperatuur van ca 105°C waardoor de zuurstof al grotendeels wordt uitgedreven. Daarna komt het water onder in de ontgasser waar het minstens 20 minuten verblijft op een temperatuur van ca. 105°C. Corrosie kan ook in een ontgasser optreden en om dit te voorkomen wordt deze aan de waterzijde meestal voorzien van een coating. (Apexior)

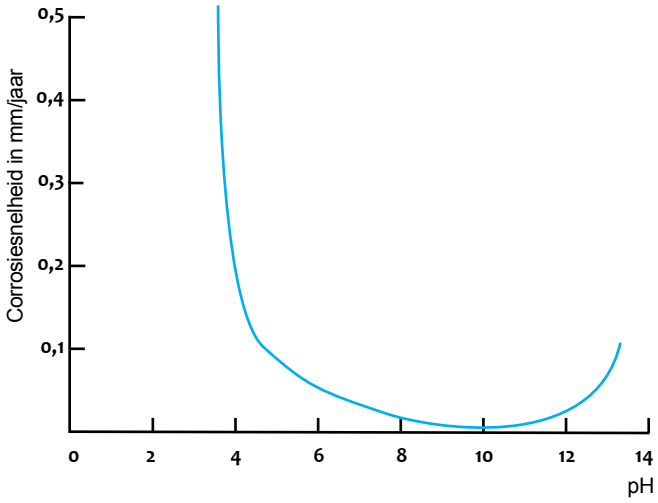


Afbeelding 3: schematische weergave van een voedingwaterontgasser.

C. Zorg voor de juiste pH-waarde.

Door conditionering wordt tevens de juiste pH waarde van het ketelwater gewaarborgd. Zoals in de onderstaande grafiek is weergegeven is de corrosiesnelheid bij een pH van 11,0 nihil, daarboven neemt de corrosiesnelheid weer toe. Bij gebruik van onthard water (pH 7 = pH neutraal) wordt als gevolg van de sodasplitsing en door de hoge temperatuur van het ketelwater voldoende alkaliteit gevormd om een pH waarde van 11 te bereiken. Als er ontzout water als voedingswater wordt gebruikt, moeten er extra alkaliseringsmiddelen toegevoegd worden zoals ammoniak of natronloog om deze pH-waarde te bereiken.

Bij gebruik van onthard water ontstaat er als gevolg van sodasplitsing enerzijds natroloog, wat zorgt voor een pH stijging van pH 7 in het voedingswater naar een pH 11,5 in het ketelwater. Anderzijds ontstaat er koolzuurgas ofwel CO2 wat met de stoom meegevoerd wordt en weer in het gevormde condensaat verder in het proces oplost. De zuurgraad van condensaat daalt daardoor tot tussen de pH 4,5 en pH 6,5.
Uit bovenstaande grafiek blijkt dat daardoor de corrosiesnelheid veel hoger zal worden. Om stoom- en condensleidingen te beschermen zijn er diverse vluchtige middelen in de handel. Deze middelen worden niet toegepast in de ketel zelf.



Grafiek 2: Corrosiesnelheid van ijzer in zuurstof- en koolzuurvrij water als functie van de pH.

3. Corrosiesoorten waar we in de praktijk mee te maken hebben.

Ondanks dat men tracht zoveel mogelijk maatregelen te nemen om corrosie in stoomketels tegen te gaan, wordt men in de praktijk regelmatig met corrosieschade geconfronteerd. Onderstaand een opsomming van diverse vormen van corrosie waarmee men in de praktijk zoal mee te maken krijgt. We kunnen de plaatsen waar corrosie optreedt als volgt indelen: waterzijdig, rookgaszijdig en aan de buitenzijde van de ketel.

A. Waterzijdig

1. Zuurstofcorrosie
2. Loogspanningscorrosie
3. Spleetcorrosie
4. Zuurcorrosie
5. Under deposit corrosion, corrosie onder aanslag
6. Galvanische corrosie
7. Flow accelerated corrosion FAC

B. Rookgaszijdig

1. Zuurcorrosie
2. Nitraatspanningscorrosie
3. Corrosie onder de bemetseling
4. Hoge temperatuur corrosie

C. Buitenzijde ketel

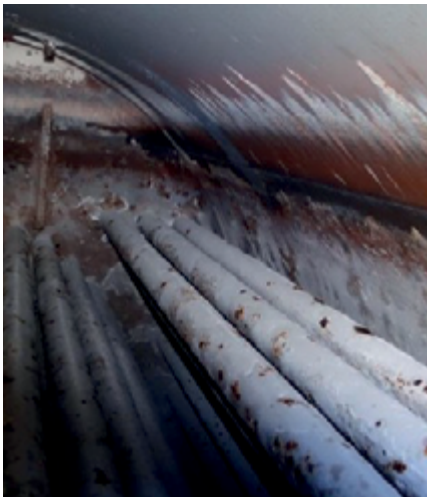
1. Corrosie onder isolatie
2. Corrosie als gevolg van lekkage

Van elk genoemd type corrosie worden hieronder enkele voorbeelden getoond.

A. Waterzijdig

1. Zuurstofcorrosie.

Zoals eerder al aangegeven is zuurstofcorrosie funest voor de vlampijpen. Zuurstofcorrosie ontstaat als gevolg van een slecht werkende ontgasser, door onvoldoende zuurstofbinder in het ketelwater of dat de ketel tijdens langere tijd (zonder conservering) buiten bedrijf is. Op onderstaande foto's worden voorbeelden van zuurstofcorrosie getoond.

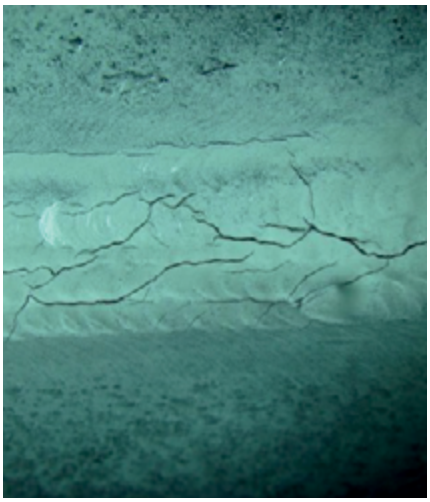


Zuurstofcorrosie in economiser pijpen

Vaak wordt het ontgaste voedingswater in een economiser, die zich in het rookkanaal bevindt, opgewarmd. In ontgast water heeft er nog geen volledige sodasplitsing plaatsgevonden. De pH waarde van het water zal hierbij rond de 8,5 bedragen. Uit afbeelding 2 blijkt dat bij deze pH waarde de corrosiesnelheid langzaam zal toenemen waardoor de kans op lekkage ook zal toenemen. Indien men zuurstof in het ketelwater waarneemt is de kans op lekkage zeker aanwezig.

2. Loogspanningcorrosie

Loogspanningcorrosie ontstaat in en rond lassen als gevolg van hoge concentraties natronloog en vocht. Deze corrosievorm verloopt langs de korrelgrenzen en kan zich zeer snel ontwikkelen. Zelfs binnen 5 maanden door een 28 mm dikke plaat.



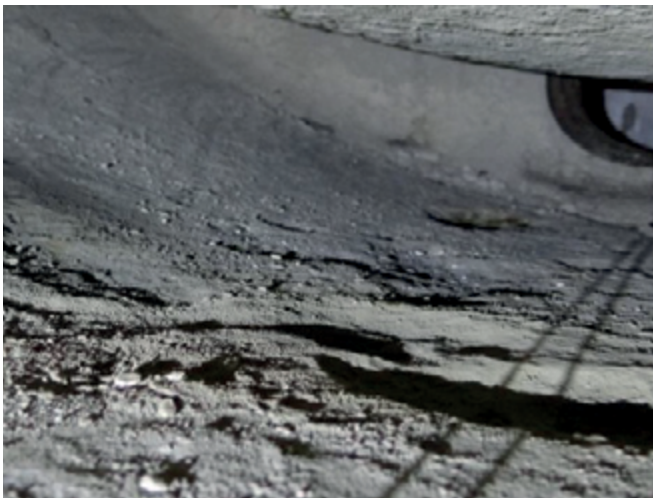
Loogspanningscorrosie langs de kamsteunen waarbij deze volledig waren losgescheurd. Het betrof een nieuwe ketel welke slechts 2 jaar in bedrijf was.

Loogspanningscorrosie in pijpgaten. Water met natronloog is ingedikt in de spleet tussen de pijp en de plaat. In de las en de plaat ontstaat loogspanningscorrosie.

3 & 5 Spleetcorrosie en corrosie onder aanslag

Spleetcorrosie kan ontstaan wanneer twee metalen in een waterige oplossing met elkaar zijn verbonden of tegen elkaar zijn geplaatst. Ook kan spleetcorrosie optreden indien een niet metallisch onderdeel een metaaloppervlak geheel of gedeeltelijk bedekt. In beide gevallen ontstaat veelal een spleet waarin de vloeistof weinig uitwisseling heeft met de zuurstof in de vloeistof buiten de spleet. Op deze wijze ontstaat een potentiaalverschil dat tot corrosie kan leiden, omdat zo'n spleet zich anodisch gedraagt in een elektrochemisch element. De zuurgraad wordt hierdoor sterk verlaagd waardoor in zulke gevallen ernstige corrosie kan optreden. Vooral onder capillaire werking kan versneld spleetcorrosie ontstaan. Capillaire werking is het verschijnsel in de natuurkunde waarbij een vloeistof, bijvoorbeeld water, in een zeer fijn buisje stijgt, tegen de werking van de zwaartekracht in, terwijl de vloeistofspiegel een concaaf (hol) oppervlak vormt.

Pijp waarbij spleetcorrosie is opgetreden. Bij de ketel in kwestie moesten 140 vlampijpen worden vervangen.

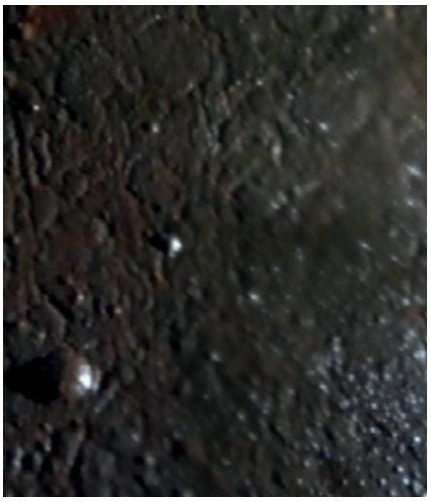


Corrosie onder aanslag. Dit deel van de romp bevond zich onder de keerkast en was niet goed bereikbaar waardoor de aanslag zich heeft opgehoopt en er een uitholling van 10 mm diepte is ontstaan.

4. Zuurcorrosie

Men wordt nog wel eens geconfronteerd met schade als gevolg van een jaren eerder uitgevoerde chemische reiniging. Sommige te verwijderen delen zitten zo vast dat het zuur zich er onderdoor probeert te vreten. In de volgende foto's is zuurcorrosie goed zichtbaar.

Vlampijp van chemisch gereinigde ketel.



Oppervlak van gezuurde voedingwater ontgasser

Deze ketel was 2 jaar na chemisch reinigen op meerdere plaatsen lek. Er werden 130 vlampijpen vervangen.

6. Galvanische corrosie

Indien er twee verschillende materialen onder vochtige omstandigheden met elkaar in aanraking komen ontstaat een galvanische cel waardoor het minst edele metaal in oplossing gaat. Galvanische corrosie treft men bijvoorbeeld vaak in stoomketels ziekenhuizen aan omdat daar nog wel eens koper voor het condensaatnet toegepast is. Als hiervan deeltjes loslaten of oplossen, worden die met het condensaat de ketel ingevoerd. Deze koperdeeltjes zetten zich af op de vlampijpen en er ontstaat een galvanische cel.

In deze ketel zijn heeft men 20 pijpen moeten vervangen. Bij analyse van de corrosieproducten werden koperdeeltjes waargenomen.

Voedingwaterontgasser met een roestvast stalen stoom verdeelsysteem. Voor RVS wordt gekozen omdat dit materiaal veel langer meegaat dan een koolstofstalen verdeler. Door middel van een flensverbinding wordt het RVS deel aan de stalen pijp bevestigd. De problemen zien we terug rond de doorvoering van de stalen stoompijp door de wand.

7. Flow accelerated corrosion

Dit fenomeen ontstaat wanneer water en stoom met hoge snelheid door de pijpen stromen. Door de hoge snelheid wordt de beschermende oxidelaag aangetast. Deze oxidelaagt groeit daarna weer aan, waarna deze weer opnieuw wordt aangetast. Op deze wijze ontstaat er een gelijkmatige afname van het basismateriaal. De mate van dunning van het materiaal is sterk afhankelijk van de doorstroomsnelheid, het toegepaste materiaal en de temperatuur.

Stijgpijp welke in de stoomdrum uitkomt. Het in de pijpen gevormde stoom / water mengsel heeft een dusdanige hoge snelheid dat de gevormde magnetietlaag van de oppervlak wordt meegenomen.

Loogcorrosie.

Loogcorrosie ontstaat door indikking van ketelwater op plaatsen met onvoldoende doorstroming.

Loogcorrosie in verdeelpijp van verdamper.

B. Rookgaszijdig

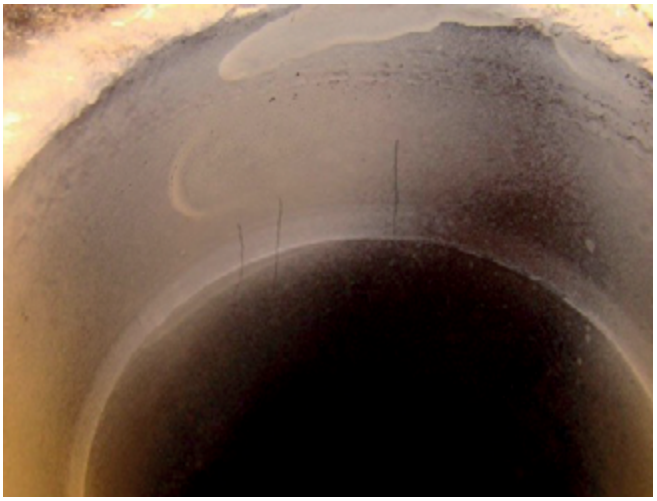
1. Zuurcorrosie aan de rookgaszijde

Zuurcorrosie ontstaat wanneer de rookgassen beneden het dauwpunt komen. Het gevormde condensaat heeft een zuur karakter (pH van 4,5 / 5,5) en zorgt voor aantasting van het materiaal vooral in combinatie met zuurstof en een hoge temperatuur.

Waterpijpen onder de schoorsteen. Door de slechte staat van de regenrand in de schoorsteen kon er condens en regenwater op de pijpen terecht komen waardoor er corrosie en lekkage is ontstaan.

2. Nitraatspanningscorrosie.

Deze corrosievorm kan ontstaan wanneer de in de rookgassen aanwezige NOx en nitraten bij een bepaalde temperatuur in het gevormde condensaat oplossen.



Nitraatspanningscorrosie in de uitgewalste pijp bij een stadsverwarmingsketel als gevolg van door koud walsen ingebrachte materiaalspanningen en kleine lekkage aan de waterzijde.

Corrosie van de pijpplaat ontstaan door zwavelhoudende rookgassen, een kleine lekkage in de las en hoge temperatuur.

3. Corrosie onder de vuurvaste bemetseling.

Via een spleet kunnen rookgassen achter de bemetseling van de vuurgang komen en condenseren. Vooral in de tijd dat er op olie gestookt werd ontstond zwavelcorrosie achter de bemetseling. Als gevolg van lekkage is er onder de bemetseling water terecht gekomen. Ernstige corrosie van de waterpijp met aan de binnenzijde talloze scheurtjes. Dit alles is goed zichtbaar op de onderstaande foto's

Via de spleet in de bemetseling kunnen rookgassen achter de bemetseling komen en condenseren.

Als gevolg van lekkage is er onder de bemetseling water terechtgekomen. Ernstige corrosie van de waterpijp met aan de binnenzijde talloze scheurtjes.

4. Hoge temperatuur corrosie.

Hoge temperatuur corrosie ontstaat veelal in oververhitters wanneer pijpen en keteldelen niet of onvoldoende gekoeld worden.

Oververhitterpijp uit een vuilverbrandingsinstallatie. Door abrasieve deeltjes in de rookgasstroom, door hoge temperaturen en door het roetblazen van ketel ontstaat corrosie/corrosie aan de bovenzijde van de pijp.

Als gevolg van verstopping wordt het oppervlak minder of niet meer gekoeld waardoor er corrosie aan het oppervlak ontstaat.

C. Buitenzijde ketel

1. Corrosie onder isolatie.

Stoomketels die buiten opgesteld staan kunnen als gevolg van inregenen corrosieschade oplopen, vooral door niet waterdichte afgewerkte isolatiebeplating. Op onderstaande foto is de corrosieschade door inregenen duidelijk waarneembaar.

Ketels die buiten staan kunnen als gevolg van inregenen corrosie schade oplopen.

2. Corrosie als gevolg van lekkage.

Door lekkage van flenzen en mangaten kan corrosie aan het drukdeel ontstaan. Onderstaande foto's tonen corrosie van mangatring en deksel bij een stads-verwarmingsketel.

Corrosie van mangatring en deksel bij stadsverwarmings ketel.

5. Nawoord

Deze publicatie is tot stand gekomen vanuit een presentatie van Paul van Berkum van Standard Fasel in januari 2018. Dit is de basis geweest voor de publicatie. In samenwerking met het Stoomplatform zijn er toevoegingen aangebracht ter volledigheid.

Het doel van deze publicatie is de bewustwording van het belang van goed onderhoud en beheer van de stoomketel en stoominstallatie om corrosie zoveel mogelijk te beperken en te voorkomen. Mede door deze publicatie proberen we de verschijningsvormen van corrosie inzichtelijk te maken met als actie dat de medewerkers ervoor gaan zorgdragen dat de juiste behandeling en procedures, eventueel in samenwerking met een specialist, worden doorgevoerd. Bij de juiste zorg en aandacht kunnen veel problemen en in het ergste geval schades en zelfs productieverlies worden voorkomen.

Cruciaal voor de stoomketel en het condensaatnet is aandacht voor een juiste waterbehandeling. De waterbehandeling en aanvullende controles moeten natuurlijk blijvend worden uitgevoerd met de regelmaat die de betreffende behandeling en controle vraagt. Van belang is ook dat controles worden bijgehouden in een journaal of logboek in het ketelhuis. Aanvullende informatie over dit onderwerp kunnen worden ingewonnen bijvoorbeeld bij de bedrijven voor waterbehandeling, ketelleveranciers en collega bedrijven bijvoorbeeld via het netwerk van het Stoomplatform.

Afbeeldingen

Afbeeldingen

Afbeelding 1: schematische weergave van een cilindrische ketel, een drietreks vuurgang vlampijpketel. Kees de Greef – Energy Technology Services.
Afbeelding 2: schematische weergave van een waterpijpketel. Kees de Greef – Energy Technology Services.
Afbeelding 3: schematische weergave van een voedingwaterontgasser. Standard Fasel

Grafieken

Grafiek 1: Oplosbaarheid van water in relatie tot de water temperatuur. Standard Fasel
Grafiek 2: Corrosiesnelheid van ijzer in zuurstof- en koolzuurvrij water als functie van de pH. Standard Fasel

Foto's

Auteur Paul van Berkum – Standard Fasel

STOOMplatform
branchevereniging voor stoom

© 2019 Stoomplatform | www.stoomplatform.nl

ISBN 978-90-827407-4-5