# Ongevalbeschrijving & “Lessons Learned”

| **Onderwerp:**<br>**Ongeval**<br>**19 november 2013** | **Total Raffinaderij Antwerpen** | **Datum:**<br><br>18 maart 2014 |
|---|---|---|

Op 19 november 2013 heeft zich bij de Total raffinaderij in Antwerpen België een stoom explosie voorgedaan waarbij 2 technici van TEAM om het leven zijn gekomen. De technici waren aan het werk aan een lekke 16” bonnet – afsluiter flensverbinding toen de flensbouten (20 stuks 1½”, ASTM A193 B7 draadstangen) waarmee de bonnet vastzat, het begaven. Hierdoor is de bonnet (met motor) met grote kracht losgekomen van de afsluiter. De energie van het plotseling vrijkomende ketelwater resulteerde vervolgens in een stoomexplosie.

Het medium was ketelwater, druk 70 bar bij een temperatuur van 290° Celsius. De afsluiter was een 16”, #900 schuifafsluiter met een octogonale RTJ ring afdichting tussen de bonnet en het afsluiterhuis. De afsluiter stond in open positie.

De technici waren bezig met het uitvoeren van een her-injectie op een lekdichtingsklem die in maart 2011 rond de bonnet – afsluiterhuis verbinding was gemonteerd. Vrijwel direct nadat met de werkzaamheden was begonnen vond het ongeval plaats.

*Identieke bonnet – motor samenstelling*

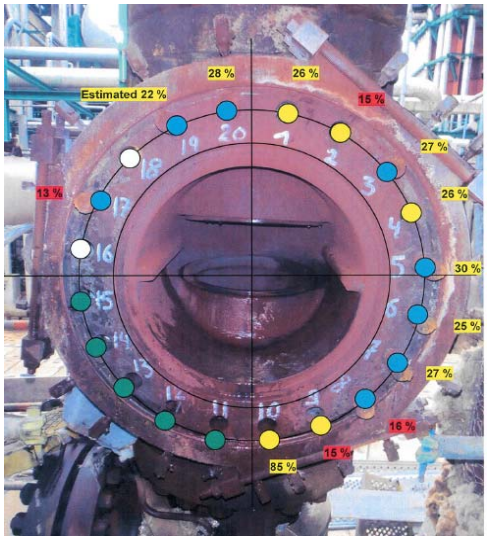
*Identieke klem rond bonnet – afsluiterhuis flensverbinding*

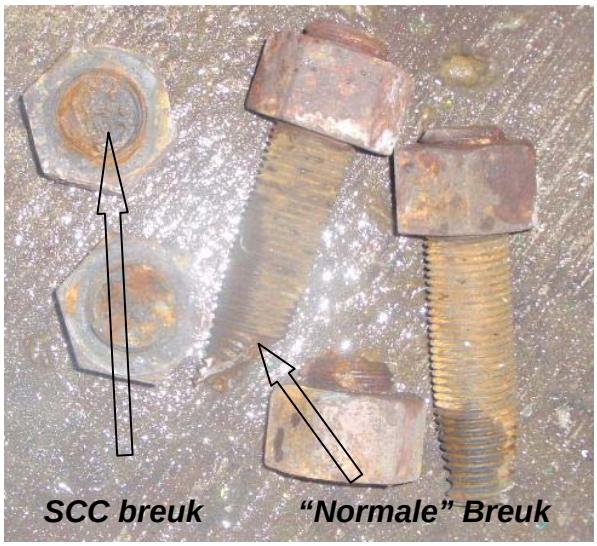
*Afsluiter nadat bonnet is losgekomen*

*Losgekomen bonnet*

***Oorzaak van het loskomen van de bonnet***

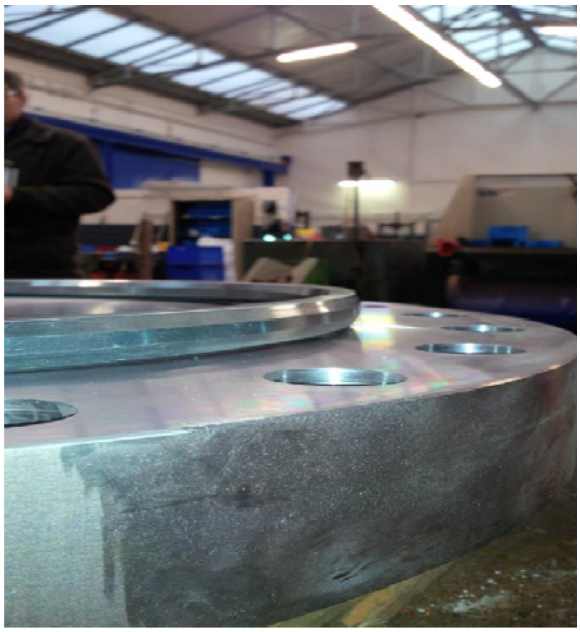
De bonnet is losgekomen als gevolg van het plotseling breken van de draadstangen. Onderzoek heeft uitgewezen dat 14 van de 20 draadstangen ernstig waren aangetast door caustic spanningscorrosie. In het Engels; (caustic) Stress Corrosion Cracking (SCC, zie ook pagina 5). De draadstangen hadden aantastingspercentages variërend van 70% tot 87%. 6 draadstangen (11 t/m 16) vertoonden geen SCC verschijnselen en vertoonden een “normale” breuk. De draadstangen faalden tijdens het her-injectieproces via een injectiepoort tussen bout 1 en 2.



***Vanuit het onderzoek komt het volgende scenario naar voren wat geleid heeft tot het breken van de draadstangen:***

1. De afsluiter heeft van oorsprong een ontwerp- of constructiefout; De diameter van de RTJ groef in de bonnet is 5 millimeter te klein (de toelaatbare ASME tolerantie is 0,13 mm). Door deze fout past de standaard RTJ afdichtingring niet goed in de groef. De ontwerp- of constructiefout was niet bekend.



*RTJ ring in een kopie van de bonnetflens. Rechter foto ligt de RTJ ring buiten de groef, linker foto ligt de RTJ ring in de groef.*

2. De ontwerp- of constructiefout veroorzaakt bij standaard montage en draadstangspanning (310 N/mm$^2$) een niet- evenwijdige flensverbinding. Om toch een evenwijdige flensverbinding te realiseren, moeten diverse draadstangen worden aangetrokken tot een spanning dicht bij de minimale vloeigrens. Laser metingen hebben uitgewezen dat de bonnet een paraplu vorm had aangenomen. Ook dit wijst op een hoge draadstangspanning.

3. Na de onderhoud turnaround van 2009 zijn er fluctuaties geweest in de kwaliteit van het ketelwater van het betrokken systeem. De fluctuaties hebben geleid tot een aantal lekkages en het plaatsen van een aantal lekafdichting klemmen in het ketelwatersysteem maar zijn op zich geen oorzaak van het ongeval.

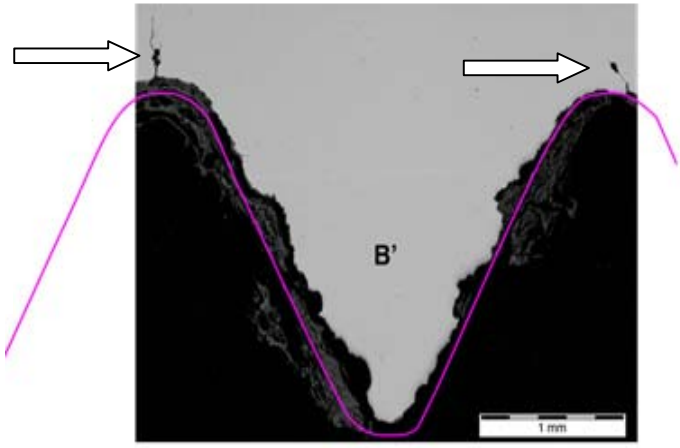
4. In maart 2011 is de klem geplaatst rond de bonnetflens welke gefaald heeft. Hierdoor was de flensverbinding weer lekvrij. Het was niet bekend dat er in de flensverbinding draadstangen zaten met spanningen tot dicht bij de minimale vloeigrens (circa 600 N/mm$^2$ bij 300°C). Zie ook punt 2.

5. Na plaatsen van de klem is de leiding waarin de afsluiter zit 5 maanden en eind 2012 nogmaals 6 weken buiten dienst geweest. Gedurende de stilstand periode is er eenmaal een zichtbaar lek opgetreden en heeft er 1 her-injectie plaatsgevonden. De afsluiter bleef onder druk (70 bar) staan maar op lage temperatuur. In deze koude toestand kon er door krimp ketelwater in de flens - klem verbinding komen. Hierdoor ontstond een corrosief milieu waarin een aantal draadstangen onderhevig zijn geweest aan algemene corrosie. Hierdoor is de druklaag van de draadstangen (gerolde draad) die weerstand biedt tegen spanningscorrosie weg-gecorrodeerd.

   Tevens waren er mogelijk al initiële micro-scheurtjes aanwezig als gevolg van “vreten” (hardheid van de moer en draadstang zijn vrijwel gelijk) tijdens het aanspannen van de draadstangen.

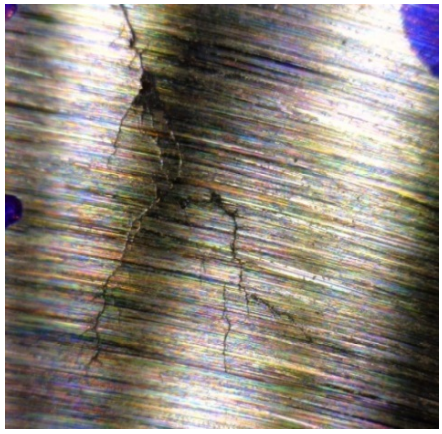
*SCC scheuren in dal schroefdraad*

*Door algemene corrosie aangetaste spoed van de schroefdraad. Licht grijs is de draadstang. Paarse lijn is schroefdraadvorm cf. norm*



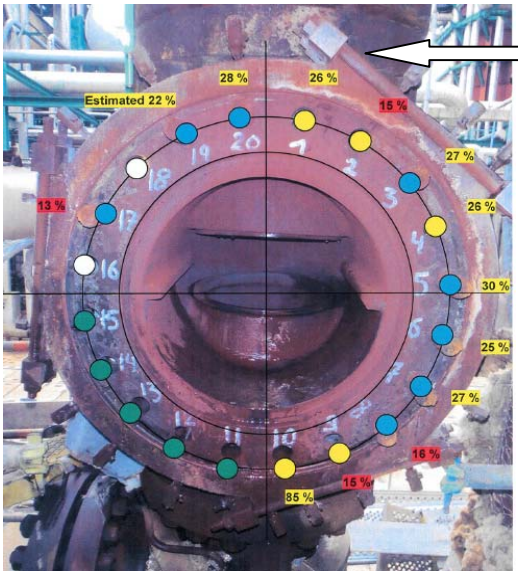

6. Na het opnieuw in dienst nemen van de leiding (eind 2011) lekte de flensverbinding nog diverse keren en zijn er een aantal her-injecties uitgevoerd. Er treedt nu een versnelde spanningscorrosie op (caustic SCC) op de draadstangen; het gelekte ketelwater verdampt en laat een caustic residu achter op de al aangetaste draadstangen.

*Draadstang met “oude” SCC breuk en restbreuk*



*SCC scheur onder een microscoop*

7. Op 19 november 2013 voeren de technici een her-injectie uit op de lekke flensverbinding waarvan de draadstangen ernstig verzwakt zijn. De bijkomende spanning, ontstaan tijdens de werkzaamheden, is voldoende om één (of meerdere) verzwakte draadstangen te laten breken. De overige verzwakte draadstangen kunnen de extra kracht niet opnemen. Er treedt een kettingreactie op waarbij alle draadstangen breken en de bonnet met motor in één keer loskomt met de stoom explosie als gevolg.




*Locatie van de her-injectie ter plaatse van verzwakte draadstangen. Vermiste injectiekraan is teruggevonden aan slang van de injectiepomp*

***Wat is spanningscorrosie (SCC)***

Een scheurvormende corrosievorm onder invloed van de gelijktijdige inwerking van een corrosief medium en (hoge) trekspanningen. Zonder de hoge trekspanningen zou het metaal veelal niet of nauwelijks worden aangetast door hetzelfde medium. Anderzijds zijn zonder het corrosieve medium veel hogere trekspanningen nodig om het materiaal te doen bezwijken. Voor spanningscorrosie wordt vaak de afkorting SCC gebruikt, van Stress Corrosion Cracking. In dit geval is er sprake van caustic spanningscorrosie.

***Oorzaken van de caustic spanningscorrosie (caustic SCC)***

- Corrosief medium (caustic/electrolyt → ketelwater)
- Gevoelig materiaal (door algemene corrosie aangetaste B7 draadstangen)
- Hoge trekspanningen (aantrekken draadstangen tot aan vloeigrens om evenwijdige flensverbinding te realiseren.)
- Temperatuur > 60-70 °C (procestemperatuur is 290 °C)

**Opmerking;** De aangetaste draadstangen zijn allemaal gebroken op het scheidingsvlak van moer en flens. Hier treden de hoogste spanningen op in de draadstangen.

***Aanvullend onderzoek van gelijksoortige verbindingen.***

- Alle draadstangen (> 200 stuks) uit de overige flensverbindingen waar een klem rond was geplaatst vertoonden geen van alle algemene en/of spanningscorrosie. Al deze flensverbindingen zaten in hetzelfde systeem (gelijk medium en gelijke bedrijfscondities).
- De klemmen zijn ongeveer in dezelfde periode geplaatst en op al deze klemmen waren reeds meerdere her-injecties uitgevoerd
- Dezelfde soorten sealant zijn gebruikt
- Dit deel van het systeem was niet uit bedrijf geweest/had niet koud gestaan.

***Klem was niet ontworpen voor het opvangen van de extra axiale kracht als gevolg van het breken van de draadstangen***

Een strongback voorziening voor het opvangen van een extra axiale kracht op flensbouten was geen standaard ontwerp voor ketelwater op hoge druk. Dit werd per geval bekeken op basis van de uitkomst van de flensboutberekening. Bij de berekening werd uitgegaan van (1) draadstangen in goede conditie en (2) een gelijkmatig verdeelde belasting.

***Samenvatting***

- Door een ontwerp- of constructiefout past de RTJ ring niet goed in de groef van de bonnet en moeten de draadstangen bovenmatig worden vastgedraaid wat leidt tot een hoge spanning in de draadstangen.
- Fluctuaties in de kwaliteit van het ketelwater hebben geleid tot lekkages waardoor er lekdichtklemmen zijn geplaatst.
- Als gevolg van 5 maanden stilstand in koude toestand zijn de draadstangen aangetast door algemene corrosie en daardoor gevoelig geworden voor spanningscorrosie.
- Bij weer in dienst nemen van de leiding waren alle ingrediënten (hoge spanning, caustic milieu, voor spanningscorrosie gevoelige draadstangen en voldoende hoge temperatuur(> 60 - 70°C) aanwezig voor een snelle aantasting door spanningscorrosie.
- Tijdens de her-injectie zijn er extra krachten opgetreden waardoor de door spanningscorrosie verzwakte draadstangen zijn gebroken.
- Er was geen strongback voorzien.

***Lessons learned***

- Visuele inspectie geeft onvoldoende zekerheid over de conditie van draadstangen of andere relevante onderdelen.

- Spanningscorrosie kan zeer snel voortschrijdend zijn. Draadstangen die in goede conditie zijn kunnen, als de condities daarvoor aanwezig zijn, als gevolg van spanningscorrosie zeer snel degraderen.

- Ingeval van her-injecties dient, als onderdeel van de risico analyse, ook de conditie van de bouten geëvalueerd te worden. De extra krachten op draadstangen als gevolg van een her-injectie zijn, bij normaal aangespannen draadstangen in goede conditie, geen probleem. Aandacht is geboden indien de conditie van en de spanning in de draadstangen niet bekend zijn. Aandacht is ook geboden indien lekkages herhaaldelijk opnieuw optreden. Bij het verdampen van het ketelwater kan caustic residu op de draadstangen achterblijven.

- Extra aandacht is vereist indien er sprake is van witte aanslag op de draadstangen of flenzen.

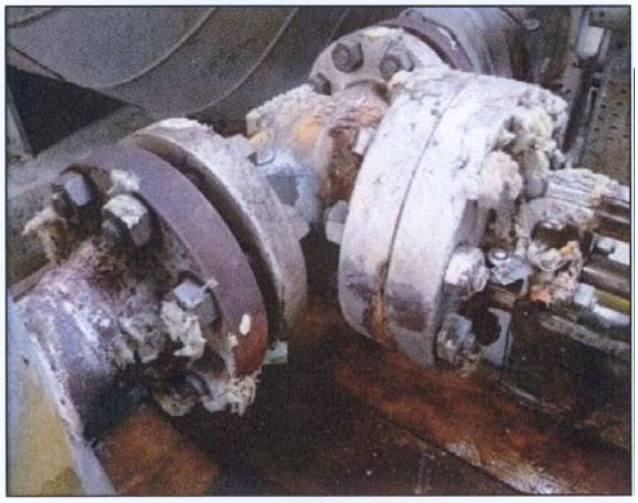


FIG 1

- Spanningscorrosie vraagt (hoge) materiaalspanningen ***en*** een corrosief medium. Extra aandacht is dan ook vereist bij corrosieve media zoals, maar niet beperkt tot;

  - Ketelwater
  - Ketelvoedingswater
  - Caustic

**(Vervolg Lessons Learned)**

- Ten aanzien van de draadstangspanning;
  De geschiedenis van (lekkende) flensverbindingen vraagt aandacht en moet vastgelegd worden. Vooral wat er met de draadstangen en verbinding is gebeurd. Ongecontroleerd vastzetten/naslaan (vaak de eerste actie indien een lek is geconstateerd) is (zeer) onwenselijk en moet vermeden worden. Het gebruik van hand- of hydraulische momentsleutels wordt sterk aangeraden.

- Extra aandacht voor combinaties van factoren (materiaalspanning, corrosief milieu, (tijdelijke) stilstand van installaties, werking van de installatie buiten de normale operationele condities, extra spanningen/krachten als gevolg van werkzaamheden, etc.

- Verschillende normen (ASME, RToD) laten verschillende rekenspanningen toe. Dit geeft bij gelijke situaties verschillende uitkomsten. Daarom dat bij risicovolle situaties met vele onbekende factoren, ongeacht de uitkomst van de berekening, een strongback moet worden voorzien.

- Er wordt aanbevolen om van alle geïnstalleerde klemmen en boxen een dossier bij te houden met daarin alle relevante technische informatie.

- In vrijwel alle gevallen zal lekdichting niet de oorzaak van het lek (corrosie, erosie, materiaal defecten, etc. ) wegnemen en herstellen. Daarom dat lekdichtklemmen en boxen als een tijdelijke reparatie moeten worden gezien en niet als definitief herstel. Er wordt aanbevolen om indien er gelegenheid (bv gedurende geplande turn arounds) voor is en dit veilig kan gebeuren, klemmen en boxen te verwijderen en een definitieve reparatie uit te voeren.

**Aanvullende aandachtspunten (niet of nauwelijks van invloed geweest op beschreven situatie);**

- Risico op waterstof verbrossing (hydrogen Embritllement) moet worden bekeken. Produkten waardoor dit kan optreden zijn o.a.:

  - Waterstof Fluoride
  - Waterstof Sulfide ($H_2S$) houdende stoffen

- Smeermiddelen die bij draadstangen worden toegepast en die ook bekend staan als mogelijke veroorzaker van SCC. Dit betreft o.a. Molybdeen Disulfide houdende smeermiddelen.

- Er wordt slechts beperkt informatie gedeeld indien er zich (bijna) ongevallen voordoen. Hoe meer kennis we over incidenten en ongevallen delen hoe minder ongevallen er zullen gebeuren. Laten we dan ook streven naar meer informatie delen. Dat helpt iedereen.