



Korrosionsbeskyttelse af kedelvægge i affaldsforbrændingsanlæg

Erik M Lund
FORCE Technology

Abstract

The utilization of waste for production of electric has caused severe corrosion problems in waste to energy plants. This has reduced the steam data and most new plants are designed for a steam temperature of 400°C and 40 bar pressure. Even with these data corrosion causes problems. Inconel 625 is welded on water walls to fight the corrosion. Due to lack of immunity yearly inspections are needed to follow the corrosion and to be able to estimate remaining service life.

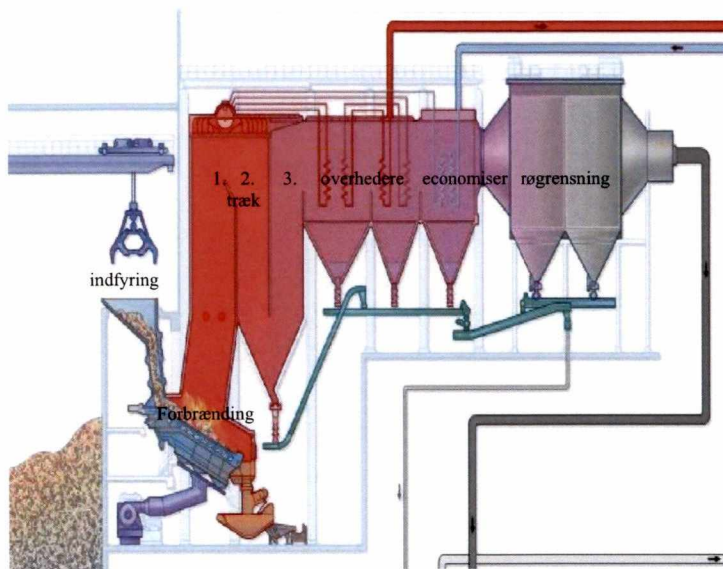
Indledning

Da man øgede kravene til energiudnyttelsen ved affaldsforbrænding og gik fra kun at producere varme til boligopvarmning og til at producere elektricitet og varme øgedes korrosionsproblemerne dramatisk. Den varmeproducerende kedel var typisk udlagt for et driftryk på 12 - 16 bar og producerede hedt vand eller mættet damp med en temperatur op til ca. 200°C. Ved disse driftdata ses kun meget sjældent korrosion i kedlens varme dele. Skal der produceres damp til en drive en turbine skal såvel temperatur som tryk øges.

Termodynamikken siger at processens virkningsgrad øges ved at øge tryk og temperatur. Dette førte til at der blev konstrueret affaldsforbrændingsanlæg med damptemperaturer op til 500°C og et tryk på 100 bar. Vedligeholdelsesudgifterne til disse anlæg gjorde dog at kravene til virkningsgrad blev reduceret. I dag konstrueres anlæg oftest til en damptemperatur på 400°C og med et tryk på 40 bar. Disse anlæg får en el virkningsgrad på ca. 16%. Regnes varmeproduktionen med kommer anlæggets samlede virkningsgrad op omkring 90%. Selv ved disse mere moderate dampdata skal man regne med korrosion i kedlens varme dele, dvs. kedelvægge og overhedere. I denne artikel vil beskyttelse af overhedere ikke blive behandlet.

Beskyttelsesmetoder af kedelvægge

Den traditionelle måde at beskytte kedelvægge på er at anvende ildfaste materier som f.eks. ildfast murværk eller kakler. Murværket er åben for diffusion af gasser ind mod kedelvæggene. Afhængig af murværkstypen kan dette give anledning til nedbrydning af murværket eller til at gasser efter længere tid når ind til kedelvæggen og der kan starte korrosionsangreb. Kakler er tætte og yder dermed en bedre beskyttelse. Deres ømme punkt er fugerne mellem kaklerne. Disse lider af samme problemer som almindeligt murværk. Dette har ført til udvikling af de såkaldte bagluftede kakler. Princippet er at der gennem huller i kedelvæggen presses luft ind bag kaklerne, således at der i fugerne sikres en luftstrøm væk fra kedelvæggen. Derved sikres at ingen korrosive stoffer kan diffundere ind til kedelvæggen. Ulempen ved systemet er udover en høj anskaffelsespris at kaklerne bliver ringere kølet da de ikke er klæbet til kedelvæggen. Den højere kakkeltemperatur fører til en øget nedbrydning af kakkelmaterialet.



Figur 1. Principtegning affaldsforbrændingskedel.

En anden årsag til at anvende keramiske løsninger er, at der fra lovgivernes side kræves, at der fra røggasserne passerer sidste luftinddysning til de er kølet ned til under 850°C skal gå mindst 2 sek. Specielt i mindre kedler kan dette ikke opfyldes uden at anvende isoleringsmateriale til at reducere varmeoptaget i kedelvæggene. Der ses derfor oftest et bælte i den nedre del af 1. træk som er beklædt enten med kakler eller med murværk. Den øvre grænse for dette murværk ligger ved udgangen af 2. sek. zonen. Kedelvæggene over murværksgrensen vil normalt kræve effektiv beskyttelse for at modstå korrosion. En ofte valgt løsning er at beklæde væggene med påsvejst inconel 625. I forbrændingsovnen ses normalt murværk eller kakler på ovenloft. På væggene i ovnen kan såvel kakler, murværk som påsvejsninger med Inconel 625 anvendes. I det følgende vil murværk og kakler ikke blive omtalt.

Krav til beskyttende lag

For at et lag kan forventes at kunne beskytte en kedelvæg skal laget være i stand til at modstå de påvirkninger som omgivelserne giver det. Når kedlen varmes op sker der en udvidelse af stålet. Der sker ligeledes en udvidelse af belægningen. Forskellen i udvidelse giver anledning til en mekanisk spænding, som bindingen mellem grundmateriale og belægning skal kunne modstå. Overfladen af belægningen berøres af de varme røggasser, mens der i kedelrørene er kogende vand ved en temperatur styret af kedeltrykket. Kogepunktet ligger normalt i intervallet $250 - 280^{\circ}\text{C}$. Røggassernes temperatur efter murværket ligger i intervallet $1050 -$

750°C. Koldere røggasser vil normalt ikke give anledning til væsentlig korrosion på kedelvæggene. Forskellen i temperatur henover rørvæg og belægning giver anledning til en varmemflux og en temperaturdifferens ind gennem rørvæg og belægning. Dette giver ligeledes anledning til mekaniske belastninger i bindingszonen og belægningen. Belægningen skal ligeledes give en effektiv beskyttelse af kedelrørene. Dette sker ved at holde røggasserne væk fra ståloverfladen. Det bliver dermed et krav at belægningen er tæt. Belægningen skal samtidig selv være i stand til at modstå røggassernes korrosionspåvirkninger.

Påsprøjtede belægninger

Metalliske belægninger kan sprøjtes på med flammesprøjtning, lysbuesprøjtning, plasmasprøjtning og HVOF (high velocity oxygen fuel) sprøjtning. Plasma sprøjtning kan også påføre keramiske belægninger. Fælles for sprøjtede belægninger er at der kun er en mekanisk binding mellem grundmateriale og det påsprøjtede. Det er dermed en relativ svag binding. Dette sætter snævre begrænsninger for hvilke typer af materialer der kan forventes at bevare vedhæftning efter gentagne opvarmninger og afkølinger. Den svage binding mellem materialerne sætter samtidig grænser for hvor tykke lag der kan sprøjtes på. Normalt siger man at påsprøjtede lag ikke bør være mere end 0,5 mm tykke. Når man sprøjter materiale på sker der ingen opblanding mellem grundmateriale og det påsprøjtede. Det betyder at laget bevarer sin korrosionsbestandighed, idet der ikke sker en fortynding af legeringen ved opblanding af jern mv. fra det underliggende grundmateriale.

Et ømt punkt ved påsprøjtede belægninger er ingen af de påsprøjtede belægninger kan forventes at være tætte. Dette giver mulighed for at korrosive gasser penetrerer ind til grundmaterialet og der starter korrosion. Der kan derved ske afstødelse af det påsprøjtede lag. De ovennævnte forhold bevirker at påsprøjtede belægninger i praksis ikke anvendes til korrosionsbeskyttelse i danske affaldsforbrændingsanlæg.

På svejste belægninger

Ved at svejse en belægning på opnår man en metallisk binding mellem grundmateriale og belægning. Dette forbedrer varmeovergangen mellem lagene ligesom den markant større bindingskraft øger fleksibiliteten ved valg af belægning, idet bindingen er så stærk, at den kan klare selv store forskelle i længdeudvidelseskoefficient. Ved påsvejsning er der ingen metodemæssige begrænsninger i hvor tykke belægninger man kan lave. Man skal dog være opmærksom på at krympekræfter i forbindelse med svejsning er betydelige og giver anledning til deformationer af det underliggende materiale. Påsvejsning sker med MAG (metal aktivgas)svejsesproces. Der anvendes inconel 625 tilsatsmateriale, som er et nikkelbaseret tilsatsmateriale med 20 - 22% Cr, 8 - 10% Mo og ca. 3,5% Nb. Kvaliteten som anvendes til påsvejsning har en maksimalt jernindhold på 1%. Der anvendes argon enten med 2% hydrogen eller 30% helium og 2% hydrogen som beskyttelsesgas. Hydrogen og helium

tilsættes for at opnå et varmere smeltebad hvilket forbedre flydeegenskaberne i smeltebadet og dermed give en glattere svejsning.

Ved almindelig svejsning ønskes altid en god og sikker indsmeltning i grundmaterialerne, således at risikoen for bindingsfejl minimeres. Det betyder samtidig en væsentlig opblanding af grundmateriale i svejsemetallet. Ved påsvejsning er det uønsket. Man ønsker her at bevare tilsatsmaterialets egenskaber. Fortyndning med jern mv fra grundmaterialet vil reducere tilsatsmaterialets korrosionsegenskaber. Påsvejsning udføres derfor i svejsestillingen lodret faldende. I denne stilling vil tyngdekraften trække smeltebadet ned under lysbuen, som derfor ikke kommer direkte i kontakt med grundmaterialet. Dette begrænser indtrængningen væsentligt og reducerer dermed opblandingen. Der anvendes samtidig en speciel pulsstyring af lysbuen. Derved kan man opnå en svejseproces, som mimimerer varmetilførselen for afsmeltning af en given mængde tilsatsmateriale og dermed reducerer opblandingen. En sidegevinst er at svejseprocessen stort set er sprøjtfri.



Foto nr 1. Inconel 625 påsvejst panel. Påsvejsningen er sket maskinelt i 2 lag. Efter påsvejsning er panelet rettet i en valse, som kun træder på finnerne.

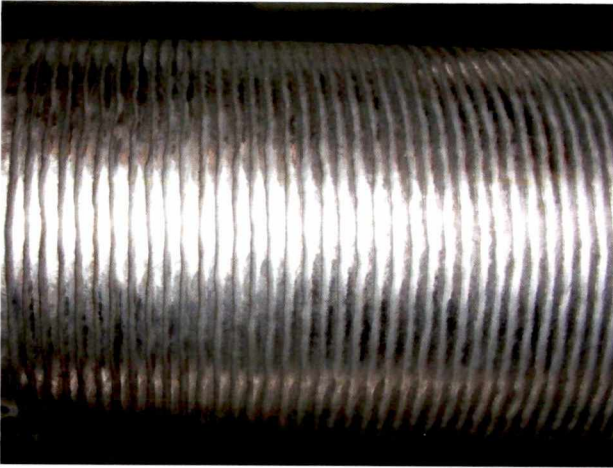
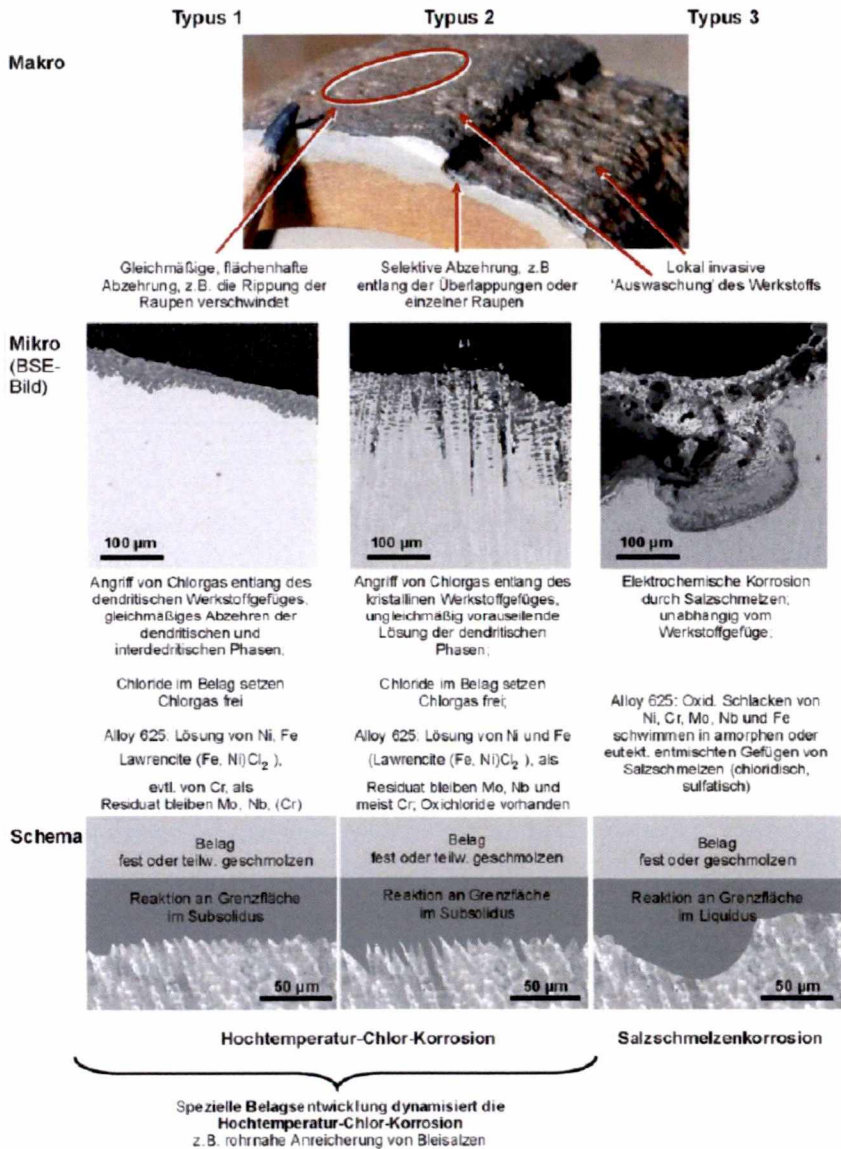


Foto nr 2 enkelt rør med spiralsvejest inconel 625.

På svejsningen kan udføres som en automatiseret proces, hvor svejseren overvåger svejseprocessen og om nødvendigt foretager korrektioner af brænderposition eller svejseparametre. Det kan også udføres som en manuel proces. Den manuelle proces anvendes ved på svejsning i kedel på driftbelastede paneler.

Tidligere skete på svejsningen i 1 lag med ca. 30% overlap mellem strengene, men kravet i markedet er gået i retning af, at leverandører skal garantere et maksimalt jernindhold i det på svejste lag på 6%. For at kunne dette er det nødvendigt at udføre på svejsningen i 2 lag, et eksempel er vist på foto nr. 1. Selv med det lave jernindhold er det på svejste lag ikke immun overfor miljøet. Det er derfor et krav, at lagtykkelsen er mindst 2 mm, ligesom der ikke må være gennemgående porer eller revner. Det accepteres derimod at der er små bindingsfejl mellem rør og på svejsning. Disse krav findes i VdTÜV Merkblatt 1166, som også foreskriver hvordan såvel svejseproces som svejser kvalificeres til at udføre på svejsning af kedelvægge. Der er behov for åbninger i kedelvægge til luftinddysning, inspektion, mandhuller og lignende. Disse huller laves ved at skære hul i panelet og indsvejsse enkeltrør, som er bukket således at det ønskede hul kan opnås. Disse rør har behov for beskyttelse på hele den udvendige overflade. Et eksempel er vist på foto nr 2. Kravene til kvalitet er de samme som for panel. Det er meget væsentligt at der ved de spiralsvejste rør er opnået en meget god binding mellem de enkelte strenge og en glat overflade, således at bukning af det færdig svejste rør er mulig. Hvis dette ikke er opnået vil røret revne ved bukning.



Figur 2. Tværsnit af driftbelastet vægrør med påsvejt inconel /1/

Nedbrydning af inconel 625

Under drift af en kedel aflejres støv mv. på alle overflader i kedlen og danner en mere eller mindre tæt belægning af varierende tykkelse. Belægningens sammensætning ændres med tiden. Den er afhængig af hvilke stoffer, der tilføres med brændslet, ligesom styringen af forbrændingen har stor indflydelse på hvilke stoffer der dannes. Under kedlens drift sker der diffusion af stoffer ind gennem aflejlrede belægningen. Dette kan føre til en opkoncentration af nogle mineraler inde på metaloverfladen. De lokale forhold kan dermed afvige betydeligt fra det man ser i røggassen. I 1/1 beskrives hvordan nedbrydningen af en overflade styres af 4 miljøparametre. De taler om

- Temperaturmiljø (medietemperatur, varmefflux, gastemperatur)
- Mineralmiljø (faser og reaktion mellem faser)
- Gasmiljø (lokalt gas partialtryk)
- Strukturmiljø (adgangsforhold for gasser gennem belægningen, porer mv)

Det betyder at man lokalt kan have forhold som begunstiger frigivelse af klogasser, som kan give anledning til gasfascangreb af metal overfladen. Andre steder kan mineralsammensætningen i belægningen være lidt anderledes, således at der dannes smelte. Sker det inde på metaloverfladen kan det give anledning til elektrokemiske angreb. Af figur 2 fremgår at korrosion forårsaget af forskellige mekanisk kan ske ganske tæt på hinanden.

Ved at påvirke miljøfaktorerne kan man påvirke korrosionsforholdene. Kan man fjerne belægningerne med et passende mellemrum, kan man reducere mulighederne for at en tilstrækkelig opkoncentrering af stoffer i belægningen kan ske. Dette åbner muligheder for at undgå dannelse af saltsmelter inde på overfladen af det påsvejste, ligesom koncentrationen af stoffer der kan frigive klogas kan holdes lav. Der er opnået gode resultater med vandspuling af de tomme træk, idet det har været muligt at fjerne belægninger. En anden gevinst er, at energioptaget i kedelvæggene øges, idet belægninger er isolerende. Et øget energioptag i kedelvægge reducerer røggastemperaturen ved overhederne. Dette reducerer korrosionsproblemerne i overhederne.

Vedligeholdelse

For at opnå en tilfredsstillende levetid af en inconel påsvejsning er det vigtigt at udføre årlige eftersyn. Det kræver at overfladen bliver afrenset ved en sandblæsning, således at overfladen er ren. Derefter sprayer vand på overfladen og der ventes 1 døgn. Derved opnås at blottet jern ruster og dermed er meget synligt. Ved 1 årseftersynet er det primært svejsefejl som opdages. Eftersynene består af en visuel kontrol samt en tykkelsesmåling. Ved den visuelle kontrol ser man overfladens generelle tilstand, kan man se de fine ribber fra svejsning, kan man se strengene eller er overfladen uden synlige konturer fra svejsningen. Derefter går man tættere på og ser på selve overfladen - er det en jævn korrosion, er der gruber og i så fald ses efter placering, størrelse og dybde af disse. Den anden del af eftersynet består i at gennemføre

tykkelsesmålinger af det påsvejste lag. Dette gøres i bånd rundt i kedlen og op gennem kedlen. Derved bliver det muligt at estimere restlevetid af påsvejsningen under forudsætning af uændrede korrosionsforhold. Det er her vigtigt, at der ikke er tegn på væsentlig grubetæring (angreb af saltsmelter). Når man vurderer at yderste lag er ved at være væk i et område kan man påsvejs et nyt lag og dermed forlænge påsvejsningens levetid.

Referencer

/1/ Korrosion durch Einsatz von Biomasse- und Ersatzbrennstoffen: Bedarf für belagsgestützte Korrosionskanngrossen af Wolfgang Spiegel, Thomas Herzog m.fl. Energi aus Abfall. Band 2. Neuruppin, TK Verlag 2007.

