

Om tryckkontroll och kontrolltryck

Fredrik Bruno, för Sodahuskommittén

Innehållsförteckning

1.	Sammanfattning	1
2.	Introduktion.....	1
3.	De nya högre kontrolltrycken	2
4.	Inverkan av eventuella defekters orientering	7
5.	Om valet av tubmaterial i eldstaden	10
6.	Dimensioner och sprängtryck hos Sandvik Material Technology kompondrör.	13
7.	Korrosion på vattensidan, framförallt spänningsinducerad korrosion	17
8	Brott vid låg slagseghet	20
9	Inverkan av höga provtryckningstryck på pressade tubinfästningar.	21
10	Slutsatser	21
11	Terminologi	22
12	Diverse referenser	23
	Ansvarsfriskrivning.....	23

1. Sammanfattning

En sammanfattning av innehållet i denna rapport är artikelserien ”Tryckkontroll av rörskarvar, ett slag i luften?” i tidningen Svetsen, nr 1-2, 2020, se ref. 1.

2. Introduktion

Sodapannan kan ses som en konstruktion bestående av dels en större mängd tryckkärlsrör, vilken är anslutna till olika mer eller mindre stora självständiga tryckkärl, framförallt då till ångdomen, som på grund av sina större dimensioner är tillverkad i mer höghållfasta och därmed mer legerade stål.

De marginaler som man bygger in för att parera bl.a. korrosion blir då snävare i domarna, medan man kan beroende på omständigheterna kan ha en viss ”övertjocklek” hos tryckkärlsrören, eller panntuberna, som de benämns sedan rören blivit en del av eldstaden. Tidigare när eldstadsväggarna i sin helhet tillverkades med kolstålsrör utgjorde detta korrosionstillägget.

Tubtjockleken för kolstålstuberna kom med tiden att väljas allt större, eftersom dels panntrycken ökade, dels behovet av ett extra korrosionstillägg också gjorde sig påmint. Från början av 1970-talet övergick man därför successivt till att göra den nedre delen av eldstaden med SANDVIK® 3R12/4L7 komponenttuber.

Allteftersom man upptäckte nya korrosionsskador ovanför den befintliga komponentgränsen i eldstaden, så kröp också övergången mellan komponenttuber i nederdelen och kolstålstuber i tak och övre väggar allt högre upp i eldstaden. Ett skäl kunde vara att lutsprayen från lutsprutan kom att träffa väggen ovanför komponentgränsen på den motsatta sidan, det kunde man då känna igen på de korroderade partiernas solfjäderformiga utbredning.

Idag används inom vårt synfält såvitt känt utslutande extruderade (och därefter pilgervalsade) komponenttuber från Sandvik Materials Technology. Med komponenttuberna försvinner helt korrosionstilläggen. På vattensidan behövs enligt kraven i standarden inte något korrosionstillägg, (EN 12952-3, § 5.8.1). På rökgassidan är det komponentskiktet som utgör korrosionsskyddet (EN 12952-3, § 5.8.2) och kolstålskomponenten, som är den lastbärande delen.

SANDVIK:s (Sandvik Materials Technology)® 3R12/4L7 komponentrör tillverkas i ett antal standarddimensioner med olika diameter, så den lastbärande delen för i en 63,5-mm tub är nominellt (minst) 4,88 mm tjock. En faktor som kan varieras är valet av material i innerkomponenten. I den mån det normalt använda materialet P265GH enligt rörstandardEN 10216-2 inte räcker till hållfasthetsmässigt finns t.ex. stålqualiteten 16Mo3 att välja på.

Man skall vara observant på att det finns gamla tumregler om korrosion m.m. som man kan behöva ompröva i och med att komponenttuberna har helt andra egenskaper och möjligheter (och även risker!) än de tidigare lösningarna, som t.ex. kolstålstuber med studding. Tidigare begränsades t.ex. panntrycket till ca 70 bar, eftersom korrosionen ansågs bli för kraftig vid de högre eldstadstemperaturer som blev följderna av att man dimensionerade med högre arbetstryck. Idag gäller inte det komponenttuberna, men då måste man istället titta på vad som händer högre upp i pannan och vad som händer om också överhettartemperaturen tillåts stiga över de riktvärden som man då hittills hållit sig till (ref. 10).

3. De nya högre kontrolltrycken

Under 1900-talet och med användande av Tryckkärlsnormer och Ånpannenormer så ingick för idrifttagande vid ny tillverkning och vid återkommande besiktningar en provtryckning, som utfördes med ett provtryckningstryck om 1,3 ggr pannans högsta tillåtna tryck. Ofta kunde lägre provtryckningstryck förekomma i samband med besiktningarna under benämningen "täthetskontroll".

I och med att vi började tillämpa Tryckkärlsdirektivet (PED, Europeiska rådets direktiv 97/23/EC, sedermera 2014/68/EU) sattes en ny filosofi, där man dessutom räknade om provtryckningstrycket i proportion till hur mycket lägre varmsträckgränsen vid beräkningstemperaturen var i förhållande till hållfastheten vid rumstemperatur, ref. 2. Man fick nu mycket högre provtryckningstryck, eller kontrolltryck, som terminologin samtidigt ändrades till.

På Tryckkärlskommissionens tid var kontrolltrycket alltså 1,3 ggr beräkningstrycket. Utomlands, och med andra normer, som de franska AFNOR, kunde kontrolltrycket också vara 1,5 ggr beräkningstrycket. Beräkningstrycket är ju sedan uträknat ur konstruktionens hållfasthet baserad på (för Tryckkärlsnormernas del den undre) sträckgränsen och multiplicerat med en säkerhetsfaktor $S_F = 1,5$. Beräkningen gjordes ju också mot sträckgränsen, vilket innebar att konstruktionen kunde hålla en vända till före brott, eftersom materialets brottgräns var väsentligt mycket högre än dess sträckgräns.

När man räknar med beräkningsvärden satta utifrån sträckgränsen kom här in en faktor till. I Sverige åtminstone räknades mot den undre sträckgränsen. Idag sätts beräkningsvärdet för tryckkärlsstål jämligt EN-standard utifrån den något högre övre sträckgränsen. På så sätt fick man tidigare med lite extra säkerhetsmarginal i jämförelse med den praxis som gäller idag.

När man nu räknar upp kontrolltrycket i proportion till förhållandet mellan varmsträckgränsen och sträckgränsen vid rumstemperatur kommer det visserligen att svara mot hur tryckkärlet ansträngs vid den förutsedda driftstemperaturen, men samtidigt innebär den högre spänningen i materialet en extra påfrestning och en kraftigt ökad risk för skador på det korrosionsskyddande magnetitskiktet, se kapitel 7. När den pålagda spänningen kryper närmre den verkliga sträckgränsen ökar risken för lokala skador på magnetitskiktet. Samtidigt har man kvar en stor marginal mot att provtryckningen skall avslöja svagheter i själva materialet eller i konstruktionen, eftersom brottgränsen för stålet ändå är 50 – 100 % högre än sträckgränsen (ca 50% för 15NiCuMoNb6-6-4, ca 100% för stål av typen P265GH).

Som framgår så innebär det att man hade ändå en väldigt god marginal till att riskera brott i konstruktionen vid provtryckningen. Naturligtvis har man ändå hittat mycket enkla svetsfel på det sättet, hanteringsfel vid svetsningen ger ju sånt som bindfel och pipe-bildningar och små retsamma läckor vid provtryckningarna.

Rena materialfel känner jag däremot inte till, men sådana kan ju ha förekommit i t.ex. längssvetsade tuber, som ju kan komma till användning i enklare pannor än sodapannor. Den goda säkerhetsmarginalen exemplifieras av att en ”i övrigt felfri” tub egentligen inte brister för invändigt tryck förrän tjockleken är nere i någon – inte några – millimeter. För en 10 MPa panna med 63,5 mm-tuber ligger S_{min}/e_{ct} vid runt 3-4 mm (korrosionstillägg tillkommer).

Det skall dock sägas att jag också har egen erfarenhet från en provtryckning av en utländsk sodapanna av Skutskär SP7/Korsnäs SP4-typ, där en förtunnad ekonomisertub (kolstålstub) brast under provtryckning i samband med ett underhållsstopp. Pannan var då inte ens tio år gammal. De högre provtryckningstryck, som i och med Tryckkärlsdirektivet blivit aktuella, kan alltså inte fånga upp den här formen av allmän korrosion (godstjockleksförlust) förrän när korrosionen fortskridit långt förbi de gränsvärden för materialtjockleken, som vi själva rör oss med och som beskrivs i Sodahuskommitténs Rekommendation D3. Ska vi hitta de tuber som ligger vid eller strax under S_{min} måste vi ta till andra metoder.

Nu ska det sägas att speciellt med äldre manuella metoder för tjockleksmätning av tuberna så hade man långtifrån full kontroll på vad som dolde sig mellan mätlinjerna och då kunde det behövas lite marginaler. Med de nu automatiserade mätningarna är den risken betydligt mindre, man mäter rakt fram och man mäter snett på flankerna och man mäter kontinuerligt längs tuben. Det finns då knappast anledning att skärpa kontrollen och öka säkerhetsmarginalerna. Valet av provtryckning bör ställas i relation till vilka övriga metoder som finns tillgängliga, framförallt när det har skett en språngartad teknikutveckling på provningsområdet.

Ångpannetuber av tryckkärlekskvalitet kontrolleras dessutom genom provtryckning vid 70 bar (eller i vissa fall lägre) redan hos materialtillverkaren, enl. EN 10216-2. § 8.4.2.1 resp. § 11.8.1 (eller genom elektromagnetiskt test § 11.8.2). Provtryckningstrycken före idrifttagandet efter montage är väsentligt högre, vare sig man räknar med det gamla (TKN) eller det nya (PED) systemet, så den provtryckning man gör vid tillverkningen är långtifrån tillräcklig för att under alla förhållanden fånga upp alla möjliga materialsvagheter. Man skulle behöva prova tuberna med ett betydligt högre tryck för att alla fel skall komma fram. Och – vi pratar inte här om längssvetsade tuber, den tillverkningsmetoden släpper vi inte in i en sodapanna.

Tryckkontrollen vid första besiktning och vid revisionsbesiktning föreskrivs i AFS 2017:3, men beräknas enligt PED och AFS 2016:1 enligt § 3.2.2 och § 7.4 i den senare:

3.2.2 Tryckkontroll

Slutkontrollen av den tryckbärande anordningen ska innefatta en hållfasthetskontroll som normalt utförs som en vätsketryckprovning vid ett tryck minst lika med värdet enligt punkt 7.4, då det är tillämpligt.

För serietillverkade tryckbärande anordningar i kategori I kan denna kontroll utföras på statistisk grund.

I de fall då hållfasthetskontrollen med vätska är skadlig eller inte kan utföras, kan andra erkända provningar utföras. För andra provningar än vätsketryckprovningar ska kompletterande åtgärder, såsom oförstörande provning eller andra metoder med likvärdig relevans, vidtas innan tryckprovningen utförs.

7.4 Vätskeprovtryck

För tryckkärl ska det provtryck som avses i punkt 3.2.2 vara lika stort som det högsta av något av följande värden:

- Det tryck som motsvarar den högsta belastning som den tryckbärande anordningen kan utsättas för vid drift, med beaktande av dess högsta tillåtna tryck (PS) och dess högsta tillåtna temperatur (TS), multiplicerat med koefficienten 1,25.
- Det högsta tillåtna trycket (PS) multiplicerat med koefficienten 1,43.

Eftersom sträckgränsen faller av med ökande driftstemperatur innebär det att det nya kontrolltrycket beräknas ur kvoten mellan övre sträckgränsen och varmsträckgränsen (som naturligtvis inte uppvisar

fenomenet med övre och undre sträckgräns) och detta multiplicerat med en faktor 1,25. Beroende på hur mycket sträckgränsen faller av med ökande temperatur beräknar vi nu kontrolltryck som blir mycket högre än trycken enligt den tidigare faktorn 1,3. Kontrolltrycket begränsas i och för sig också av den konstruktionsdel som ger den lägsta faktorn. Det innebär att kontrolltrycket inte kommer upp i de nivåer som avses för tuberna, eftersom det vanligaste är att kontrolltrycket begränsas av dommaterialets varmhållfasthetsvärden. Sträckgränsen för de mer varmhållfasta materialen är nämligen inte lika starkt temperaturberoende som motsvarande varmsträckgränsvärden för rena kol- (mangan-) stålsvarianter är.

Trycken blir ändå rätt höga.

Som exempel på hur det kan gå till beräknar vi värdena för två typfall, dels en säg modernare konstruktion med lite högre tryck och med ångdom i 15NiCuMoNb5 och eldstadtuber i dels standard Sandvik Materials Technology komponenttuber och dels 6,3 mm kolstålstuber PG235GH och dels för jämförelse en lite äldre konstruktion (d.v.s. före PED) med ångdom i Altherm 55 (ett finkornbehandlat 36-stål) och eldstadtuber i 5 mm St35.8/III-tuber.

Beräkningstemperaturerna blir med 50° temperaturtillägg för en typisk ~70-barspanna (7 MPa) med dom i 20MnNb6/P355GH (som rörmaterial enl. SS-EN 10216-2: 20MnNb6, W.Nr 1.0471, som plåt enl. SS-EN 10028-2: P355GH, W.Nr 1.0473, "mikrolegerat" finkornstål typ Altherm 55) beräkningstemperatur vid 7 MPa 336°C och för en tänkt ~100-barspanna (10 MPa) med dommaterialet 15NiCuMoNb5-6-4 (W.Nr 1.6368) beräkningstemperatur vid 10 MPa 362°C. De beräknade kontrolltrycken skulle bli för en 70-barspanna 14,9 MPa för domen och 16,5 MPa beräknat för tuberna, för en 100-barspanna 15 MPa för domen och 24,3 MPa för tuber i P265GH. Gamla systemet hade gett 9,1 MPa för 70-barspannan resp. 13,0 MPa för 100-barspannan, dvs en ökning med 66% för 70-barspannan (!) resp. 20% för 100-barspannan.

Material	Temperatur	Tryck	f _{20c}	f _T	Förhållande	Kontrolltryck PED	D:o TKN
P235GH	336	7 MPa	157	83	1,89	16,5 MPa	9,1 MPa
P265GH	336	7MPa	177	96	1,84	16,1 MPa	9,1 MPa
Typ Altherm 55, P355GH	336	7 MPa	237	137	1,73	15,1 MPa	9,1 MPa
P265GH	362	10 MPa	177	91	1,95	24,3 MPa	13 MPa
15NiCuMoMoNb5-6-4	362	10 Mpa	293	244	1,20	15 MPa	13 MPa

Tabell 1: Jämförelse mellan olika kontrolltryck för 2 typfall (7 resp. 10 MPa)

Ur tabell 1 ser man att dommaterialets varmsträckgränsvärden visserligen begränsar det förskrivna kontrolltrycket, men proportionerna mellan olika material kan synas orimliga. Framförallt pannor med dommaterial i finkornstål lär bli utsatta för oönskad överbelastning.

Två sodapannor i Sverige är konstruerade för att högsta beräkningstryck på 135 bar. Beräkningstemperaturen (inkl. temperaturtillägget 50°) blir 386°C, vilket omräknat ger ett fiktivt beräkningsvärde på 346 MPa. Nominellt provtryckningstryck med dom i 15NiCuMoNb5-6-4 blir då 215 bar/, d.v.s. 22% högre än enligt Tryckkärlsnormernas praxis, men samtidigt fortfarande inte mycket högre (6%) än vad en tryckfaktor på 1,5 hade föranlett (203 bar).

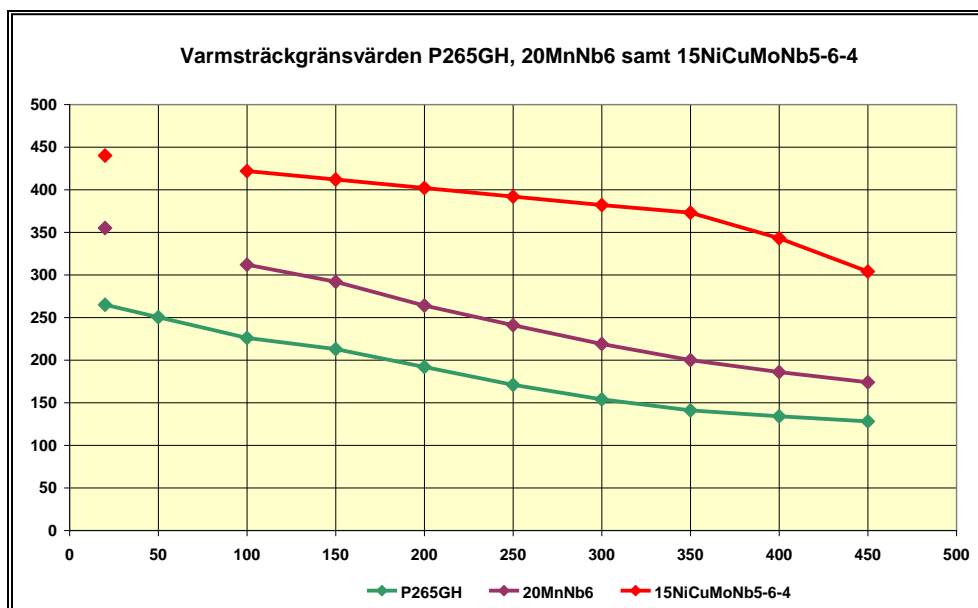


Diagram 1: Varmsträckgränsvärden enligt EN 10216-2

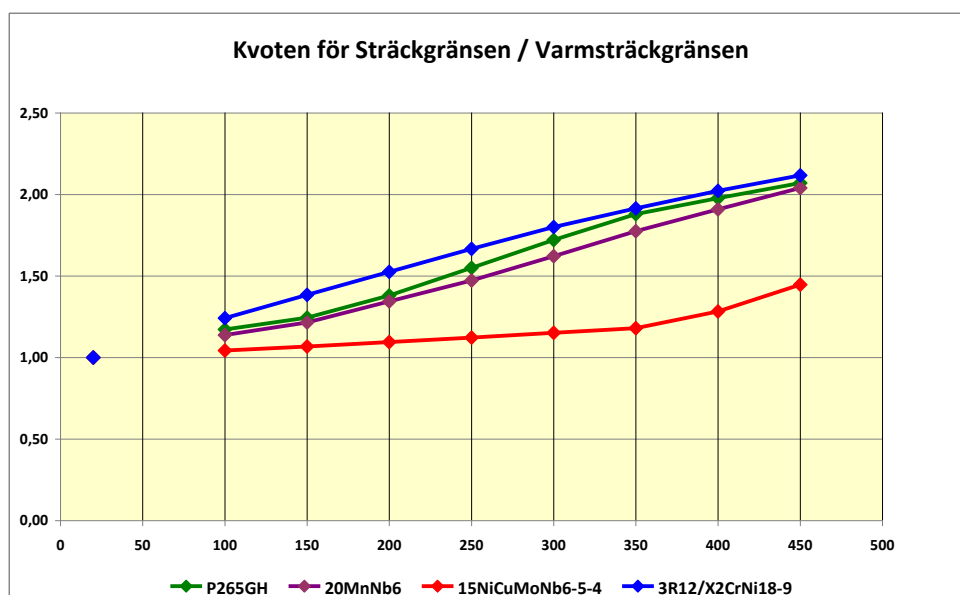


Diagram 2: Kvoten mellan sträckgränsen och varmsträckgränsen. Ju högre kvoten blir, desto högre blir kontrolltrycket.

Man ser hur 15NiCuMoNb5-6-4 sticker ut. Vid temperaturer över 350°C så börjar även kurvan för varmsträckgränsvärdena för 15NiCuMoNb5-6-4 att mer tydligt böja av nedåt. Varmsträckgränsen faller inte av lika mycket för 15NiCuMoNb5-6-4 som för de övriga, vilket medför att det beräknade kontrolltrycket för högre tryck och högre beräkningstemperatur inte ökar lika mycket som det gör för anläggningar med det "enkla" dommaterialet 20MnNb6 (finkornstål, t.ex. Altherm 55). Det innebär att kontrolltrycket inte blir förhållandevis lika högt i förhållande till konstruktionstrycket i en anläggning med domen tillverkad i 15NiCuMoNb5-6-4 (eller i Fortiweld, som har en liknande

varmsträckgränskurva, ref. 9) i jämförelse med "enklare" anläggningar med domen utförd i stål av typ P355GH/20MnNb6, t.ex. Altherm 55. Typexemplet är de gamla domarna i Fortiweld, ett borlegerat stål med ungefär samma hållfasthetsvärden som 15NiCuMoNb5-6-4. Det innebär att man får ha en hög uppmärksamhetsgrad för de nyare pannor som utnyttjar det senare materialet. Jämförelsen med Fortiweld är väsentlig, eftersom Fortiweld på sin tid besvärades av ett otal olika materialproblem och bl.a. kom att ses som ett skolexempel för korrosionsformen "spänningsinducerad korrosion". Fortiweld hade också andra negativa egenskaper, som åldring och låg slagseghet, som man inte skall blanda in i synen på det CEN-godkända nyare 15NiCuMoNb5-6-4-stålet.

Sammanfattningsvis så ser man att det är varmsträckgränsvärdena för dommaterialet, som verkar styrande för hur högt kontrolltrycket blir vid en tryckkontroll. Nu är det samtidigt så att den högre hållfastheten för det mer höghållfasta materialet innebär en (ungefär) motsvarande lägre godstjocklek i den färdiga konstruktionen. För 100-barspannan hade godstjockleken bara blivit ungefär 80% av motsvarande konstruktion med St355-stål och 70 bar. Detta påverkar samtidigt risken för sprickbildning p.g.a. spänningsinducerad korrosion, eftersom eventuella böjspänningstillstånd blir mer accentuerade i skal med tunnare gods.

4. Inverkan av eventuella defekters orientering

Sprängförsöken och argumentationen bakom dem tar sikte på en begränsad typ av ingrepp i eldstaden, nämligen enbart de fall, där man har åstadkommit rena rundsvetsar. Den situationen är emellertid inte ovanlig. Som exempel kan nämnas tubbyten för att ersätta konstruktionsdetaljer med en begränsad livslängd i eldstaden, t.ex. tuberna kring löphålen, eller slitna luftportar. Det ingår också i rutinerna att ta ut provtuber för att undersöka eventuell förekomst av invändiga beläggningar.

Bakgrunden är den s.k. Ångpanneformeln, d.v.s. sambandet mellan spänningen i omkretsled och spänningen i längsled i en trycksatt cylinder med slutna gavlar. Spänningen tvärs en svets i omkretsled blir då (i en tunnväggig tub) bara hälften så stor som den spänning som en längssvets utsätts för.

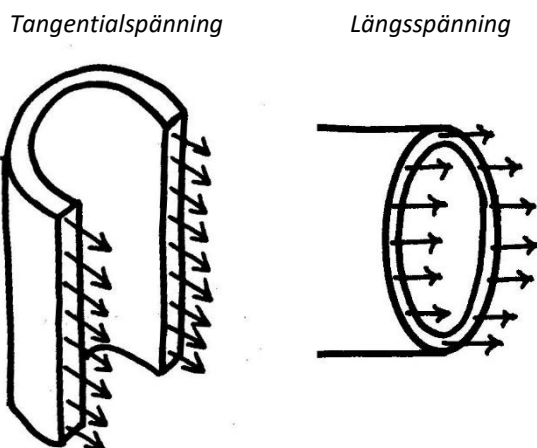


Bild 3: Den spänning, som representeras av pilarna i den vänstra bilden, är dubbelt så hög, som den spänning som representeras av pilarna i den högra bilden.

För en tjockväggig eldstadstub, till vilket man får räkna de komponenttuber som använts vid sprängförsöken, är förhållandet mellan längsspänning och medelomkrets-spänning lägre än för en tunnväggig tub. En lätt approximativ beräkning räknar fram förhållandet till $\sim 0,44$ istället för $0,5$.

Det innebär att även om det döljer sig rätt omfattande svetsfel i rundsvetsen, så kommer provtryckningen inte att ge utslag för dem. Det skall till mycket omfattande svetsfel i en rundsvets för att initiera ett brott i tuben i omkretsled, ett s.k. giljotinbrott. Finns det genomgående porsystem i svetsen kan man förvänta sig att de visar sig som läckage på ytan redan vid mer måttliga övertryck. Sådana fel kommer också till synes vid den oförstörande provningen, som röntgen eller penetrantprovningen.

Beträffande giljotinbrott är det förresten en upplysande iakttagelse att söker man på "giljotinbrott, rörledning" på internet får man upp massor med bilder på dokument och ritningar, men inte ett enda praktiskt exempel på att ett sådant brott skulle ha inträffat. För en rörledning gäller ju att spänningsbilden sammansätts av dels membranspänningarna, som lyder Ångpanneformeln, och dels uppträdande böjspänningstillstånd. Trots att böjspänningstillstånden kan vara besvärande, så räcker de tydligen inte för att i praktiken åstadkomma ett brott där tuben går av t.ex. längs en rundskarv (jag reserverar mig här för att höga böjspänningar kan ge upphov till utmattningssprickor).

Huruvida de högre kontrolltrycken är ändamålsenliga även vid andra typer av svetsorienteringar är en annan diskussion. Om man måste göra en skarvsvets i ett trångt läge, där man bara kommer åt att svetsa från en sida, så kan man lösa uppgiften genom att utföra skarvsvetsen som en s.k. lucksvets, se bild 4. Man sammanfogar först de två preparerade tubändarna, varvid man delvis måste lägga svetsen inifrån vattensidan. När det är gjort svetsar man på luckan. Allt kan göras av en person i ett moment utan att man behöver komma åt från baksidan. Den färdiga lucksvetsen skiljer sig då från den vanliga rundsvetsen genom att en del av svetslängderna går parallellt med tubriktningen. Då blir de parallella delarna utsatta för full membranspänning, såväl vid tryckprovningen som under senare driftförhållanden.

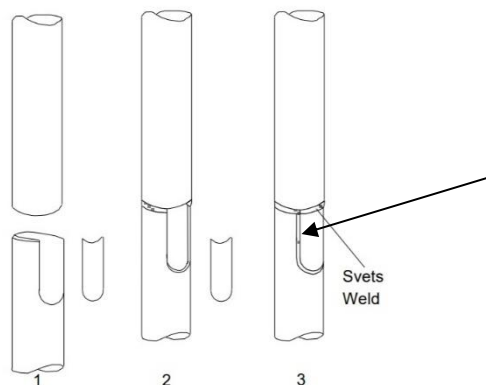


Bild 4: Lucksvetsen är en teknik att lägga svetsen från ett håll vid dålig åtkomlighet. En del av svetsen kommer då att gå i tubens längsled (se pilen).

Men för vanliga rundsvetsar/skarvsvetsar, som man kan svetsa från båda hållen och som bara går i omkretsled, så blir spänningsbelastningen alltså bara hälften av den påfrestning som man syftar till att åstadkomma med en provtryckning. Detta är också anledningen till att Sodahuskommittén bedömer att en Tryckkontroll enligt Arbetsmiljöverkets föreskrifter inte är en ändamålsenlig metod för att validera hållfastheten för rundskarvar i samband med en revisionskontroll. Laboratorieförsöken utförda av Sandvik visar också att tuberna fläker vid sidan om rundsvetsarna även i det fall de är utförda med även rätt grova avsiktligt inbyggda defekter.

Vad gäller skador med en utsträckning i tubens längsled (t.ex. svetsfel i längssvetsade rör), så omfattas de (på samma sätt som lucksvetsarna) inte av det teoretiska resonemang, som går ut på att tryckkontrollen missar sitt syfte när tryckkontrollen tillämpas på svetsskarvar, som är geometriskt orienterade enbart i omkretsled.

Tanken med det högre kontrolltrycket är ju att det skall kompensera för att varmsträckgränsvärdet vid driftstemperaturen är lägre än den hållfasthet materialet uppvisar när man provar det vid rumstemperatur. Samtidigt tar tryckkontrollen fortfarande inte tillräcklig höjd för de verkliga driftsförhållandena och framförallt inte till andra inte ovanliga skadeorsaker som man möter hos en ångpanna, t.ex., korrosion eller lokal överhettning – eller i värsta fall s.k. torrkokning.

När det gäller svetsarnas kvalitet och hållfasthet kan motsvarande säkerhet uppnås med andra oförstörande provningsmetoder. T.ex. föreskriver Sodahuskommittén att alla svetsskarvar skall röntgas med två mot varandra korslagda filmer. I kombination med penetrantprovning och provtryckning med mer måttligt kontrolltryck (1,3 ggr högsta tillåtna tryck) har det visat sig vara en framkomlig väg. Så gjorde man ju före PED och erfarenheten talar såvitt vi vet inte för att det skulle vara otillräckligt.

Mer måttliga felberäkningar eller otillräckliga sträckgränsvärden upptäcks inte heller med provtryckningen, såvitt de inte är så omfattande att de kommer i konflikt med summan av säkerhetsfaktorn och dragprovkurvans skillnad mellan sträckgräns och brottgräns. Utmattningsprickor i svetsar kan däremot orsaka sprödbrott i tjockväggiga tryckkärl om de senare samtidigt provtrycks med för kallt vatten. Eftersom det är endast i extrema sällfall som omslagspunkten för slagseghetskurvan över-

stiger 100°C, så sätts anläggningen inte under tryck förrän man befinner sig säkert ovanför omslagstemperaturen. Sådana sprödbrott i befintliga anläggningar med pannan vid fullt tryck och temperatur vore annars förödande, men en provtryckning förebygger knappast att anläggningen (d.v.s. pannans ångdom) skulle explodera under drift. Däremot har några sådana sprödbrott inträffat vid provtryckning när pannan varit avställd för översyn, vilket kan tänkas ha inneburit risker för provningspersonalen.

Sodahuskommittén anser därför att man istället bör koncentrera sig på de redan etablerade oförstörande provningsmetoder som står till buds och låta tryckkontrollen bli en ren kompletterande läckageprovning. De praktiska försöken hos SMT/Sandvik har ju också visat att inte ens de förpreparerade svetsfelen uppdagades vid tryckprovningen, och det trots det kraftiga övertryck som de utsattes i samband med sprängningen av dem.

Det finns ju samtidigt situationer där andra provningsmetoder inte är tillgängliga, t.ex. om man har en dom med invalsade tuber, tätsvetsade eller inte. Här är det samtidigt snarare så att tryckkontrollen riskerar att skapa läckor, som inte finns från början, ifall tätpressningen inte håller för det högre trycket. Har den sedan börjat läcka är man inne i en djävulscirkel med återkommande provtryckningar och läckage.

5. Om valet av tubmaterial i eldstaden

Kompoundrör har successivt kommit att bli det dominerande materialvalet till väggarna i nedre delen av eldstaden, samtidigt som stiftade kolstålsrör på samma sätt numera överväger som materialval för tuberna på eldstadsbotten. I det senare fallet är valet av studdade tuber inte helt självklart. Valet mellan komponenttuber och kolstålstuber till bottentuberna är dock inte en fråga för den här rapporten.

5.1 Om kolstålstuber

Ovanför den s.k. komponentgränsen någontans på halva höjden av eldstaden väljs sedan kolstålsrör. De väljs med väl tilltagna korrosionstillägg med tanke på tidigare erfarenheter, då kolstålstuberna i området ovanför komponentgränsen till och från visat sig kunna korrodera betydligt mer än man tidigare förutsett.

Sodahuskommitténs rekommendation D3 ger exempel på att för ett moderat rörstål som P235GH (egentligen St 35.8/III enligt DIN 17175) beräknat enligt EN 12952-3 och begränsningarna i D3 skulle kunna accepteras med 2,8 mm godstjocklek. Resten skulle utgöra en reserv för den framtida korrosionen i eldstaden. Samtidigt verkar ju i praktiken den egentliga gränsen för när tuben verkligen brister vara nere på bara drygt någon millimeter. Eftersom man samtidigt har effekten av förlängningen till brott typ midjebildning vid brottytorna, så är det inte självklart att brottet tolkas så.

När det sen kommer till frågan om hur de olika materialen förhåller sig till korrosionen i eldstaden och hur det påverkar vilken strategi man skall välja för när och hur man trycker pannorna blir det en avvägning mellan faktorer som i huvudsak har med korrosionen att göra.

Man kan också, som nämnts ovan, ha problem med lutspridning på väggarna högre upp än förutsett. Ofta har det varit fråga om någon eller ett par meter som man i vissa fall sett sig föranledd att höja upp gränsen mellan komponenttuber och de kolstål-tuber som förutsätts befinna sig ovanför den nedre reducerande delen av eldstaden, dvs den nedre del av eldstaden där det bildas järnsulfid istället för magnetit på stålytorna.

Lut som sätter sig och torkar in på väggarna skapar en reducerande korrosionsmiljö som orsakar sulfidering av stålytan. Utsatta ställen är väggarna mittemot en lutspruta om lutstrålen är fel inställd och helt eller delvis träffar den motsatta väggen. Ovanför komponentgränsen har man i allmänhet släta kolstål-tuber, och får man då brinnande lutbeläggningar på dessa, så får man en reducerande miljö med bildning av järnsulfid under beläggningen. Detta är då betydligt mindre korrosionsbeständigt i jämförelse med om det bildats ett skikt av oxider under den sulfatbeläggning man normalt har på väggarna häruppe.

5.2 Om komponenttuber

Eldstadstuber är ju inte fredade mot korrosion på vattensidan. Även om det är sällan förekommande är "hetvattenoxidation" mycket allvarligt i de fall det förekommer (två för mig kända fall i nordiska sodapannor). Utnyttjar man det lastbärande skiktet till max så hamnar man i en besvärlig situation i de fall som vattensidan drabbas, d.v.s. man måste hålla mycket noggrann uppsikt över vattenkvaliteten. Den här risken är densamma för kolstål-tuber som för komponenttuber, se avsnitt 7.4.

5.2.1 Något om SMT SANDVIK® komponenttuber

Nuförtiden används för eldstadens nedre delar så gott som uteslutande komponentrör tillverkade av SANDVIK:s dotterbolag Sandvik Materials Technology.

För sodapannor med komponenttuber är det i stort sett "one size fits all", dvs dimensionen 63,5x6,53 mm. I standardutförande medger (minimi-)tjockleken 4,88 mm på det lastbärande skiktet i 10216:2/P265GH och att det rostfria skiktet är lite drygt 1,5 mm tjockt. Det gör att pannan kan designas för högst tillåtna tryck på ungefär 13,5-14,0 MPa. För ännu högre tryck finns också möjligheten att göra innerkomponenten i 16Mo3 för att få högre hållfasthet. De pannor som har lägre tryck får en extra marginal, eller om man så vill ett korrosionstillägg gentemot korrosion på vattensidan.

Då skall man också betänka att det Europastandarder utgår från ett medelvärde på godstjockleken och specificerar ett toleransintervall som sträcker sig både uppåt och nedåt, medan Sandvik Materials Technology däremot här följer ASME praxis och anger ett minimivärde för den tryckbärande komponentens godstjocklek och ett toleransintervall som enbart sträcker sig upp mot större godstjocklek. Det senare beror på att Sandvik Materials Technology även tagit hänsyn till att deras komponentrör skall kunna användas på den mer ASME-influerade marknaden utanför Europa.

Enligt uppgift så är den "praktiska" tillverknings-toleransen för tubens vägg-tjocklek (alltså för de flesta rören, d.v.s. den är inte garanterad) 7,1 +/- 0,15 mm. Den lastbärande komponenten är således i praktiken runt 5½ mm tjock. Korrosionstillägget har man på utsidan i form av

kompoundskiktet. Allteftersom man önskat ett alltmer högre beräkningstryck så har den invändiga (vattensidiga) korrosionsmarginalen i samma mån fått stryka på foten, eftersom korrosionsmarginalen varit skillnaden mellan den garanterade tjockleken på den lastbärande komponenten och s_{min}/e_{ct} .

Ytterskiktet anges som medeltjocklek intygen (-0.4 + 0.6 mm). Alla rör genomgår 100% oförstörande provning. Totalväggen mäts med ultraljud och mäts med eddy-current (härutöver görs också magnetprovning av rörytan).

Den tryckbärande komponenten tjocklek, dvs det invändiga kolstålet, verifieras genom att subtrahera ytterskiktets tjocklek från totalväggens och den på detta vis verifierade minsta garanterade tjocklek anges i intyget, dvs som minvägg. Rör som har för tunn kolstålsvägg skrotas. Kompoundrören i leveranstillstånd är därför i praktiken runt 0,6 mm tjockare än vad som det står på ritningar och i intyg enligt EN 10216-2/EN 10204.

5.2.2 Kompoundtuben vid avvikande driftsförhållanden

Det rostfria kompoundskikt har kanske inte bättre hållfasthetsvärden jämfört med kolstålet i det lastbärande skiktet. Framförallt däremot är duktiliteten (förlängningen vid deformation) och också varmsträckgränsvärdena vid mycket höga temperaturer mycket bättre och det rostfria stålet tappar inte i hållfasthet på samma sätt som kolstålet när temperaturen ökar över de 280 – 320°C (skattad materialtemperatur 330 – 370° inkl. temperaturtillägget), som gäller för driftstemperaturen i en sodapanna. Effekten blir att kompoundskiktet kommer att fungera som en stödstrumpa på kompoundtuberna, både om trycket skulle bli på tok för högt eller om materialtemperaturen skulle skena iväg okontrollerat.

Det rostfria ytterskiktets bättre hållfasthet vid högre temperaturer beror då inte på att hållfasthets-egenskaperna skulle vara annorlunda vid pannans arbetstemperatur, utan istället på att gränstemperaturen där man börjar räkna med krypvärden ligger mycket högre, högre än 550°C för X2CrNi18-9, utan också på att den fordrade förlängningen t.ex. är min 45% för det rostfria materialet mot ca min 25% för kolstålen och brottgränsens minimivärden är 515 MPa för X2CrNi18-9 mot t.ex. 410 MPa för P265GH. När man trycker en kompoundtub till extremt höga tryck eller till extremt höga temperaturer kommer kolstålet att "ligga som en seg deg" inne i det omgivande rostfria skal som kompoundskiktet då utgör.

I de fall där det ändå inträffat brott i kompoundtuber p.g.a. överhettning har man fått ett helt annat brottutseende i jämförelse med motsvarande fläckningar av kolstålstuber. Kolstålstuben sväller upp lokalt som en vril på en fjällbjörk, medan kompoundtubens brottutseende är betydligt med beskedligt, både betydligt mindre bula och en kortare och inte lika vid uppfläckning. Men det finns få fall med kompoundtuber att jämföra med, det är uppenbarligen ovanligt att kompoundtuber blir så varma att de "smäller". Men vid en tryckkontroll med föreskrivna kontrolltryck är hållfasthetsegenskaperna så pass lika att de bägge komponenterna följs åt i den elastiska deformationen, medan det rostfria skiktet håller tillbaka alla tendenser till att en kompoundtub skulle gå till brott.

Brottutseendet blir dessutom olika beroende på om brottet orsakas av att tuben har korroderat och blivit kritiskt tunn, eller om den blivit kraftigt överhettad och börjat krypa. Det är olika brottmekanismer. En kolstålstub klarar ner till någon millimeters godstjocklek innan den brister om den har blivit förtunnad, men redan vid ca. 300°C börjar brottgränsvärdena sjunka, så att vid högre temperaturer sker brottet vid alltmer ökande tjocklek. Här rör vi oss dock med materialtjocklekar som fortfarande vida understiger de gränsvärden för materialtjockleken där tuben ändå kasseras. Men fortskrider någon process (hög temperatur eller kraftig korrosion) okontrollerat så kan man naturligtvis hamna där.

Dessutom – om någon del av pannan visar sig vara permanent utsatt för alltför hög temperatur, så att tubmaterialet börjat krypa, så upptäcks inte det missförhållandet vid en provtryckning, även om den görs efter kraven i Föreskriften. Provtryckningen/tryckkontrollen görs ju vid rumstemperatur, och då är materialets mekaniska egenskaper inte mer förändrade än att en tryckkontroll inte förmår fånga upp de missförhållanden som pågår.

5.2.3 Kompoundtuben i sodapannan

Ovanför komponenttuberna sitter det vanliga kolstålstuber, så tidigare var det de nedre delarna av eldstaden som var den svaga länken i pannan, nu sitter den högre upp.

Komponenttuberna medför att det har blivit mycket sällsynt att man får ett läckage i form av en uppfläkning i de delar av ugnen där man har komponenttuber. Däremot är komponentskiktet i sig känsligt för en avancerad form av spänningskorrosion, så att tubreparationer av dem trots de bättre hållfasthetsegenskaperna ändå är vanligt förekommande. Den lastbärande kolstålskomponenten är däremot inte känslig för den formen av spänningskorrosion, så tanken att de här spänningskorrosionsprickorna skall leda till ett tubbrott känns inte trolig.

Om man nu ändå får sprickbildning i komponentskiktet, så förlorar man en del av de ovan beskrivna fördelarna som komponenttuben ger, men samtidigt finns det fortfarande kvar ett visst korrosionsskydd gentemot själva sodasmältan. Och de här resonemangen gäller bara rökgassidan. På vattensidan är det fortfarande ingen skillnad mellan komponenttuber och kolstålstuber.

Så bilden är komplicerad.

6. Dimensioner och sprängtryck hos Sandvik Material Technology komponentrör.

Beräkningarna avser de teströr som tillverkades med AB Sandvik Material Technologys komponentrör SANDVIK® 3R12/4L7 i standarddimension 63,5 x 6,53mm. Två sådana teströr undersöktes genom att tryckas till så höga tryck att de fläcktes, vilket redovisas i AB Sandvik Material Technologys Tekniska rapport , ref. 3.

Komponentrörens mått och toleranser är anpassade för att också kunna följa amerikansk standard, ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Därför är innerkomponentens tillverknings tolerans angiven enbart med ett minimimått, medan den totala vägg tjockleken har en plus tolerans -0/+15%. (gäller

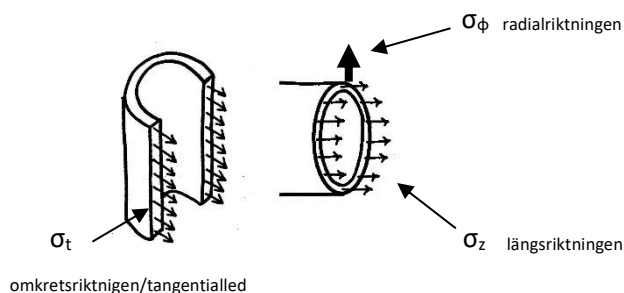
dimensioner $d_y \geq 50,8$ mm se ref. 4). De avviker därmed från europeisk praxis, där motsvarande rör skulle anges med andra mått och med plus/minustoleranser.

För rör i dimensionen 63,5x6,53 mm och med materialkombinationen SANDVIK® 3R12/4L7 provas och intygas den lastbärande komponenten i SANDVIK® 4L7 mot en minsta tjocklek om 4,88 mm. Totalväggens minsta tillåtna vägg tjocklek 6,53 mm kontrolleras och intygas sedan med en tolerans om $-0/+15\%$. Den normala vägg tjockleken för dessa tuber ligger vid ungefär 7.1 mm, vilket emellertid till skillnad för innerkomponentsmättet $\geq 4,88$ mm inte är garanterat.

För ytterskiktet i 3R12 är det uppgivet som 1,65 mm med tolerans $-0,40/+0,60$ mm. Detta är därmed också det mått är som är lämpligt att använda vid överslagsberäkningar, som t.ex. för att prognosticera det förväntade sprängtrycket för teströret.

Det finns också mer höglegerade komppoundrör. De tillverkas i samma ytterrdiameter och med ytterkomponent i stål som SANDVIK® Sanicro 38 eller SANDVIK® Sanicro 67. De kan ha en annan dimensionsfördelning mellan innerkomponent och ytterkomponent i förhållande till 3R12/4L7-rören, men är i övrigt likvärdig med den produkt som tillverkas med 3R12. (För detaljer, se Sandvik Materials Technologys produktbroschyrer).

Brottspänning och metallurgiskt brottkriterium är knepigt att uppskatta för ett komppoundrör, eftersom det består av två material med olika egenskaper. Men vi antar här ett medelvärde baserat på mittvärdet för respektive materials brottspänningsintervall. Med en normal praktisk tjocklek för kolstålsdelen om ca 5,45 mm och 1,65 mm för det rostfria skiktet (d.v.s totalt 7,1 mm) har vi uppskattat att ett medelvärde på brottgränsen för rörväggen bör ligga vid ca 515 MPa.



När man räknar på hållfastheten för ett rör måste man börja med att ta hänsyn till spänningstillståndets treaxlighet. För en ångpannetub har man därför i praktiken en situation med ett tredimensionellt spänningstillstånd, där man överlagrar (1) σ_t tangentialspänningen i omkretsled, (2) σ_ϕ den tryckspänning som uppstår i radialriktningen (ϕ -led) och (3) σ_z längsspänningen i z-led.

Med ett förhållande ytterradie/ godstjocklek på $\sim 4,5$ bör komppoundrören i normalfallet räknas efter de formler som gäller för tjockväggiga rör (ref. 5). Tangentialspänningen (d.v.s. omkretsspänningen) i röret blir då störst på rörets insida och lägre på rörets utsida. Skillnaden mellan omkretsspänningen vid innerytan och omkretsspänningen vid ytterytan kan bli ganska stor. Beräkningen förutsätter emellertid elastisk deformation, d.v.s att inte ens den inre rörväggen börjat plasticeras.

Vi kan med formeln för tjockväggiga rör vid ett tre-axligt elastiskt spänningstillstånd beräkna ett förhållande mellan tangentialspänningen i innerytan och det inre trycket. Det ger här att den maximala tangentialspänningen skulle bli 4,55 MPa för ett inre tryck 1 MPa. Spänningen i rörets radialriktning (ϕ -riktning) i sin tur är en tryckspänning som orsakas av det inre trycket.

En komplikation här är emellertid att rörväggen vid brott är genomplasticerad. Då gäller inte längre formlerna för elastiskt spänningstillstånd, utan spänningarna utjämnas och man får ungefär samma spänning genom hela rörväggen.

Om vi utgår från ett inre tryck på 1 MPa och förutsätter att rörväggen är genomplasticerad kan man beräkna spänningarna till (1) i omkretsled 3,47 MPa, (2) i radialled ϕ till -1 MPa (d.v.s. det inre trycket, tryckspänning) och (3) i längsled z till 1,52 MPa.

Brottet antas fortfarande starta vid innerytan, där jämförelsespänningen är högst. σ_{\max} är tangentialspänningen vid rörets innervägg och $-\sigma_{\min}$ är den tryckspänning som åstadkoms av vatten-trycket (tryckspänningar räknas negativt).

När man nu har ett treaxligt spänningstillstånd så räknar man mot ett brottkriterium, vanligen enligt Tresca eller von Mises. Tresca utgår från skillnaden mellan största och lägsta huvudspänning. Brottkriteriet enligt Tresca tillämpas i första hand i de fall där man har ett rent elastiskt spänningstillstånd.

Om vi hade tillämpat Trescas brottkriterium hade vi fått

$$\sigma_T (\text{brott enligt Tresca}) = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} = P * (2 r^2)/(r_i^2 r_y^2) \text{ MPa.}$$

Det med elastisk teori beräknade sprängtrycket för ett rör med "verkliga" dimensioner skulle då bli 103 MPa. De verkliga sprängtrycken för teströren har däremot varit 1199 resp. 1275 bar (122 resp. 130 MPa), så den elastiska teorin stämmer mindre bra. Den här formeln gäller dock bara vid ett elastiskt spänningstillstånd. Om vi då istället gör en överslagsberäkning med full plasticering och samtidigt tillämpar Trescas brottkriterium får vi att röret brister vid ett vattentryck på 115 MPa. Detta är något bättre i linje med de verkliga sprängtrycken.

Men här har vi en omfattande plastisk deformation innan röret brister. Så hade det gällt att beräkna spänningarna i magnetitskiktet vid normal trycksättning hade Trescas teori passat bra, eftersom det sambandet baserar sig på att materialet beter sig elastiskt. Så om man antar att deformationen blir fördelad ungefär som den elastiska spänningen är fördelad, så förutser man alltså ett för lågt sprängtryck. Det beror då på att tangentialspänningen vid elastisk deformation blir så kraftigt ojämnt fördelad över tvärsnittet (högre vid innerytan, lägre vid rörets ytteryta).

Teströret brister dock inte när spänningen når sträckgränsen utan först när spänningen når brottgränsen, och då har spänningsfördelningen i röret utjämnats genom en omfattande plastisk deformation. Och nu när rörväggen är genomplasticerad kan man förvänta sig att man får bättre överensstämmelse när man använder von Mises brottteori.

$$\sigma \text{ (brott enligt von Miseses)} \quad \sigma_{VM} = \sqrt{0,5 * ((\sigma_t - \sigma_z)^2 + (\sigma_t - \sigma_\phi)^2 + (\sigma_\phi - \sigma_z)^2)} \text{ MPa}$$

Med det spänningstillstånd som uppstår i en sluten cylinder, som teströret hos AB Sandvik Materials Technology, så blir jämförelsespänningen för ett inre tryck om 1 MPa inte mer än 3,9 MPa.

Proportionerar man detta och jämför med brottgränsen för den genomplasticerade rörväggen 515 MPa hamnar man på 132 MPa, ett värde som harmonierar bättre med de verkliga sprängtrycken, särskilt med tanke på den tillåtna spridningen av respektive brottgränsvärden.

Skillnaden mellan det elastiskt beräknade sprängtrycket och det verkliga får alltså tillskrivas den omfattande spänningsomlagring, som sker vid den plastiska deformationen sedan sträckgränsen för respektive materialkomponent passerats.

Skillnaden mellan von Miseses brottkriterium och Trescas är att von Miseses ger en något lägre skillnad (omräkningsfaktorn blir ca 15% lägre) mellan brottspänningen hos materialet och det verkliga sprängtrycket (dvs röret skulle brista vid 131 MPa). Med tanke på att toleransintervallen för brottgränsen för respektive stålsort är så vid (+/- ca 15-20%, d.v.s. enligt respektive EN-standard för kolstålet 410 till 570 MPa och för den rostfria komponenten 460 till 680 MPa), så är det inte meningsfullt att beräkna ett teoretiskt sprängtryck med större noggrannhet.

De gjorda beräkningarna avser uppfläkning orsakad av tangentialspänningen, σ_T , så som framgår av Sandviks rapport ref. 3. Av resonemangen i kapitel 4 framgår närmare varför man inte fått uppsprickningen i omkretsriktningen.

Slutsats 1:

De verkliga och de teoretiskt beräknade sprängtrycken stämmer väl med varandra inom ramen för den variabilitet som gäller för brottgränsvärdet.

Slutsats 2:

En annan generell slutsats man kan dra av sprängprovningens försöken -- förutom att tryckprovningen inte förmår upptäcka även allvarliga fel i rundskarvarna -- är att särskilt kompondrören uppvisar betydligt bättre marginaler mot uppfläkning än man kan förledas att tro, när man ser de konventionella tryckkärlsberäkningarna. Det får dock inte tolkas så att de är ofelbara. Det är fortfarande mycket viktigt att ha kontroll över uppkomsten av inre beläggningar, se avsnitt 7.4.

Slutsats 3:

Sprängprovningens försöken har visat att man med en tryckprovning inte kan upptäcka även allvarliga fel i rena rundsvetsar. Brotten vid den av SANDVIK utförda sprängprovningen har inte initierats vid rundsvetsarna utan på av svetsningen oberoende rörytor. För en diskussion om detta, se kapitel 4.

7. Korrosion på vattensidan, framförallt spänningsinducerad korrosion

7.1 Magnetitskiktets egenskaper.

Det korrosionsskyddande magnetitskiktet bildas genom en diffusionsprocess på stålytan, där järn diffunderar ut från fasgränsen genom den bildade magnetiten, samtidigt som syre diffunderar in. Det utbildas två skikt på ytan, dels ett inre homogent skikt, som skyddar ytan mot fortsatt oxidation, dels ett yttre poröst skikt av enskilda magnetitkristaller. De fälls ut en liten bit utanför den inre magnetitytan och kristallerna växer samman till ett poröst yttre skikt, som är det man ser om som man ytligt sett betraktar som det skyddande magnetitskiktet, trots att det inte är det. Eftersom det är poröst så fylls mellanrummen med överhettad ånga när pannan är under drift och det gör att det porösa skiktet får dålig värmeöverföringsförmåga.

Bildningen av magnetitskiktet på en oskyddad stålyta sker främst i området upp till ca 225°C och innebär att oxidationen tränger lite djupare för varje tillfälle, särskilt om den bildade magnetiten spricker upp mellan varven. Innan temperaturen hunnit stiga så mycket att reaktion hunnit ge ett tätt skyddande skikt är stålytan mycket känslig för galvanisk korrosion med magnetiten som katod och kvarvarande blottad/okorroderad stålyta som anod. Risken för korrosion i form av gropfrätning eller liknande är väl som störst vid säg 150-180°C, sen läker ytan successivt. Det här är en process som upprepar sig för varje nedeldning/underhållsstopp, vilket beror på att det kommer in syre i pannvattnet medan pannan är nedeldad, eller att det fylls på med nytt syremättat matarvatten om pannan har varit tömd under stoppet.

7.2 Allmän korrosion, jämn avfrätning.

Ett exempel på att förtunnade tuber kan leda till att en eldstadstub rämnar under drift är Vallvik 1998. Ett annat i USA för mycket länge sen krävde ett dödsoffer, en yngre kvinnlig laborant som händelsevis råkade gå förbi sodapannan för att hämta ett prov, när den plötsligt exploderade p.g.a. en förtunnad tub, också där med tubförtunningen koncentrerad till ena sidan av tuberna. Rotationseldning har troligen varit en bidragande skadeorsak i den övre delen av ugnen i Vallvik 1998. Det de här bägge fallen hade gemensamt var att förtunningen inträffade snett ner på sidan/flankerna av tuben.

Blir tuberna nu utsatta för en jämn avfrätning (s.k. allmän korrosion), så är ett så högt provtryckningstryck som möjligt naturligtvis ett sätt att brutalt avslöja om det förekommer farligt tunna partier, men då rör vi oss med avsevärt tunnare kvarvarande godstjocklek än att den bara är mindre än s_{min}/e_{ct} .

Ett klassiskt exempel är gamla fartygsångpannor. De var i form av storvattenrumppannor med eldrör och rör för överhettning av ångan infästa mellan vänkamrarna. De var svåra att inspektera och eldrören kunde korrodera ganska ostört. I de fall där det inträffade brott på eldröret så ångfylldes maskinrummet på nolltid med de oönskade konsekvenser det kunde medföra för eldarna. Här kunde verkligen provtryckningarna rädda liv.

7.3 Spänningsinducerad korrosion/sprickbildning

Beträffande vattensidan tillkommer risken för att sprickbildning i magnetitsskiktet leder till s.k. spänningsinducerad korrosion. Sannolikheten för att dra på sig skador av den här typen ökar med tiden framförallt med ökande spänning i materialet, eller om man ser det så, med den ökande elastiska deformation som materialet utsätts för. Vid sidan av konventionella utmattningssprickor i grundmaterialet har vi här att ta hänsyn till de korrosionsutmattningssprickor, som går under beteckningen "stress induced cracking", och som beror på att spänningarna på vattensidan av tuberna/ domarna blir så höga att det invändiga magnetitsskiktet spricker sönder. Man måste nog alltid räkna med att det uppkommer sådana sprickor i det korrosionsskyddande skiktet vid alla nedeldningar, men det är kan vara skillnad på hur omfattande den här sprickbildningen blir. Men allteftersom pannan blir äldre så blir sprickorna allt djupare.

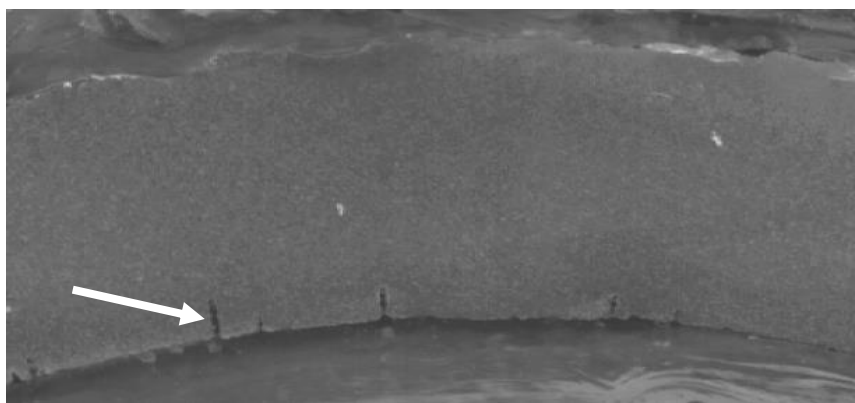


Bild 5: Exempel på spänningsinducerad korrosion i panntub. Sprickan vid pilen har växt till i etapper.

Eftersom elasticitetsmodulen är i stort sett densamma för både de "enkla" och de mer höglegerade dommaterialen, så ligger skillnaden dem emellan inte i stålets egenskaper i sig utan i hur höga tryck/spänningar/elastiska deformationer man utsätter dem för; vid provtryckningar likaväl som vid upp/nedeldning eller vilka spänningar som uppkommer mellan olika komponenter, t.ex. mellan eldstadstuberna och förekommande inhållningsbalkar de kan vara fästade vid. Ett annat ställe för skador är änden på påsvetsade fenor och järn, särskilt då i de fall då de har ett tvärt avslut. Det är en balansgång mellan det arbete man lägger ner på att undvika spänningskoncentrationer och de spänningar/spänningsändringar man utsätter pannan för.

Dels då hur många spänningsväxlingar man har hunnit ackumulera allteftersom pannan blir allt äldre, dels korrosionsmiljön vid varje enskilt tillfälle. Det normala är att när man eldar på pannan efter ett stillestånd, så har man fyllt på nytt pannvatten, och då är det normalt inte avgasat eller behandlat med hydrazin eller motsvarande syrereducerande medel eller så har det ändå läckt in syre under stilleståndet. Det lösta syret bildar sedan en galvanisk cell med det blottlagda stålet i sprickorna som anod och omgivande magnetit som katod. Sprickor uppstår i magnetitsskiktet så att det underliggande kolstålet blottas både vid ned/uppeldningarna och vid tryckkontrollerna. Magnetitsskiktet är sprödare än stålet och magnetiten har också en högre elasticitetsmodul. Magnetiten har dessutom olika egenskaper i olika kristallriktningar, och eftersom vi (jag) inte vet hur magnetiten är orienterad i det magnetitsskikt som bildas vid oxidationen av stålytan, så blir analysen osäker. Man får kombinationen liten anod och stor katod, vilket förstärker korrosionen, så att man får som en "löpgrav" under

sprickorna i magnetiten. De adderar på från stilleståndstillfälle till stilleståndstillfälle och blir till sist så allvarliga att man i första hand måste sätta ner trycket, i senare skede investera i en ny sodapanna.

7.4 Erfarenheter av inre beläggningar och dålig vattenbehandling.

Äldre pannor nedeldades mycket mer ofta än idag, kanske i gamla tider till varje veckoslut, senare vid storhelgerna och sommarstoppet. Nuvarande regim med ett stopp om året, eller till och med ännu mer sällan, innebär därför en förbättring med tanke på risken för sprickbildning.

Amerikanska erfarenheter från äldre sodapannor – med en från svenska förhållanden något avvikande vattenbehandling och drifrutiner – är något alarmerande att eldstadstuberna som en följd av mångårig drift med många nedeldningar och med en vattenbehandling i huvudsak baserad på tillsatser, så har man fått problem med invändig sprickbildning i tuberna (ref. NACE Technical Committee, dels TEG 198X, dels T5H-1).

En korrosionsform som är lika lömsk som den är ovanlig när det gäller sodapannor är hetvattenoxidation, det är värmebelastningen och mängderna kalcium och magnesium i pannvattnet man måste ha kontroll på. Hetvattenoxidation går ut på att anläggningen drabbats av dåliga värden på sammansättningen på pannvattnet, dvs att det har blivit kalkfällande och kommit att avsätta kalkbeläggningar på de mest värmebelastade ytorna. Kalkdepositionen uppvisar ju omvänd löslighet, det är därför kalkbeläggningarna är koncentrerade till de ytor som är utsatta för den högsta värmebelastningen. Detta blir då på den s.k. kronan på tuben, dvs rakt fram, eller lite snett åt sidan om man tillämpar rotationseldning.

De porösa kalkbeläggningarna kommer att fyllas med ånga, vilket gör att tubväggstemperaturen rakar i höjden. Då uppträder en annan komplikation. Om pannvattnet innehåller fritt alkali så ökar också pH till extrema värden i ett tunt skikt allra närmast tubväggen. Den koncentrerade lösningen kan penetrera kalkbeläggningen och angripa det underliggande stålet. Man får längsgående gropränder med tydliga begränsningskanter, och de kan bli djupa. Sådana korrosionsdiken skulle kunna tänkas brista vid en kraftfull provtryckning, de är längsgående och de brister då om de är tillräckligt djupa. Men som vi visat i avsnitt 7.2, så kan man förvänta sig att det sker först när korrosionen gått så långt att det bara är 1-2 mm kvar av tubtjockleken.



Bild 6: Exempel på korrosionsangreppet vid hetvattenoxidation. Skada 2001-13.

Man hittar hetvattenoxidationen på de ställen i eldstaden där värmebelastningen är högst. I en sodapanna kan man anta att de bara uppträder när man har komponenttuber, eftersom man annars redan med den höga värmebelastningen hade drabbats av allvarlig korrosion på rökgassidan, t.ex. om tuben hade varit av typ studdad kolstål. De här skadorna ska upptäckas vid besiktningarna genom att man även på komponenttuber låter göra ultraljudmätningar av tjockleken. De skadade partierna känns också igen på att komponentskiktets utsida blir svartanlöpt av att det bildas ett sulfidskikt på ytan. Komponenttuber ska inte förlora godstjocklek och uppträder det att en tub i tubväggen inte håller full godstjocklek ligger felet sannolikast på vattensidan.

Detta utgör egentligen mer ett problem i framförallt oljeeldade pannor, eftersom de värmebelastningar man förutsätter behövs är högre än vad man normalt ser i en sodapanna. Koll på vattenbehandlingen och pannvattensammansättningen är också en förutsättning för att undvika hetvattenoxidationsproblem.

Sammanfattningsvis kan korrosion orsaka skador, där en kraftfull tryckning kan ge utslag, men som vi påvisat i den inledande diskussionen av den här rapporten, så slår den fortfarande mot en begränsad konstellation av skador, och vilka borde upptäckts och åtgärdats långt tidigare.

8 Brott vid låg slagseghet

När man diskuterar kombinationen materialval och provtryckning, så finns det ytterligare en faktor som kan vara förödande, om man kommer i konflikt med den och det är materialets slagseghet. Ett exempel är den ångdom som tillverkades i det illa beryktade stålet Fortiweld i Uddeholmsbolagets verkstad i Degerfors nån gång i början av 1960-talet. Vid provtryckning efter färdigställandet så räm-nade ena gaveln på domen "i småbitar" p.g.a. att stålet hade så låg slagseghet att det initierades ett sprödbrott vid en svets och man fick instabil spricktillväxt. Bitar av gaveln låg spridda över verkstads-lokalen.

Orsaken här var att omslagstemperaturen för slagsegheten låg högre än provtryckningstempera-turen, samtidigt som man tryckte med icke uppvärmt vatten. Eftersom alla moderna stål (godkända tryckkärlsstål) idag har betydligt bättre slagseghet, så är det tveksamt om sådana sprödbrott skulle utgöra ett problem nuförtiden. Dessutom är driftstemperaturen hos en ångpanna betydligt över 100°C, så under drift är stålet väl uppe i det sega området högt ovanför den omslagstemperatur som markerar gränsen mellan sprött och segt brottbeteende.

Det är idag knappast troligt att en svetsdefekt skulle utlösa ett sådant spektakulärt sprödbrott och framförallt inte under drift, men för tjocka gods och avancerade höghållfasta stål kan man behöva bevaka risken för att just en vårdslös provtryckning skulle kunna initiera ett sådant här sprödbrott längs den värmepåverkade zonen i någon av kraftsvetsarna. Skulle materialet vara känsligt för åldring kan frågan också komma upp på bordet.

Men – skulle materialet eller de påverkade zonerna längs svetsarna bli försprödade och det finns inbyggda fel som kan fungera som utlösande orsak, så riskerar man att spränga domen i småbitar. Ett exempel var den tidigare omnämnda Fortiwelldomen på den mekaniska verkstaden i Degerfors, där

ena gaveln sprängdes i bitar och spreds ut över verkstadsgolvet, en verkligt obehagligt situation för de som utförde provtryckningen.

8.1 Om personskaderisker vid provtryckning.

Det har i enstaka fall inträffat sådana brott som beskrivs ovan i befintliga pannor ute i världen i samband med provtryckning efter underhållsarbeten. Händer det kan man bli stående med en sodapanna som blir utslagen i månader, för att inte säga i år innan den kan komma på banan igen.

Det är större risker med en provtryckning av en befintlig panna, eftersom det då är mer sannolikt att någon medarbetare befinner sig på oskyddade områden i pannhuset. Här måste man se en allvarlig personskaderisk, eftersom man ju går in i pannan för att detaljstudera bl.a. tubinfästningarna i domen (domarna). Ett sprödbrott på domen i den situationen är ett mardrömsscenario för envar med personalansvar.

Nuförtiden trycker man vid lätt förhöjd temperatur för att undvika onödiga sprödbrott, men det innebär skällningsrisk om temperaturen anpassas alltför mycket till vad man tror kan vara nödvändigt för att just undvika sprödbrott. Samtidigt vore ett sprödbrott i domen en helt oacceptabel risk för de personer som inspekterar pannan inifrån eldstaden.

Personskaderisken adderar sig till de övriga argumenten mot för höga kontrolltryck vid Tryckkontrollerna.

9 Inverkan av höga provtryckningstryck på pressade tubinfästningar.

Om det förekommer pressade tubinfästningar - tätsvetsade eller inte - är det också Sodahuskommitténs åsikt att det högre kontrolltrycket är skadligt för pannan och kan få själva inpressningarna att bli otäta, oaktat om pannan ännu inte tagits i drift och därför inte är lika utsatt för framtida spänningsinducerad korrosion.

10 Slutsatser

Med stöd i ovanstående anser Sodahuskommittén att den tryckkontroll vid revisionsbesiktning som föreskrivs i AFS 2017:3 att utföras enligt PED och AFS 2016:1 § 3.2.2 resp. § 7.4 är mindre ändamålsenlig och att den bör ersättas med en tryckkontroll med mer måttligt kontrolltryck tillsammans med en kombination av övriga ändamålsenliga oförstörande kontrollmetoder. Detta gäller särskilt i samband med rundsvetsar, där det förhöjda kontrolltrycket fortfarande inte förmår öka tryckkontrollens förmåga att reagera på vanligen förekommande fel. Vi anser att tidigare praxis med 1,3 ggr förhöjning av kontrolltrycket i förhållande till högsta tillåtna tryck är tillräcklig för att enkla svetsfel som kan leda till läckage skall ge sig tillkänna och att ytterligare öka kontrolltrycket för att avslöja svagheter i konstruktionen, materialen eller utförda svetsarbeten inte ger något mervärde.

Tryckkontroll med mer måttliga kontrolltryck för att säkerställa frihet från läckagemöjligheter, som pipebildning, bindfel eller liknande bör dock fortfarande göras. Med ett lägre kontrolltryck uppnås härmed även en ökad säkerhet för den personal som skall inspektera pannan på plats.

Frigjorda resurser genom det enklare genomförandet av tryckkontrollen bör istället satsas på att höja säkerheten genom t.ex. oförstörande provning. Val av provningsmetod bör här göras individuellt med utgångspunkt från och med inriktning på de arbeten som utförts.

11 Terminologi

Vi har valt att anamma bruket att använda beteckningen "rör" för rör/tuber som produkt och konstruktionsmaterial och "tuber" för värmebelastade rör/tuber när de väl är monterade i eldstaden (eller ekonomisern). (jfr. "fallrör" som går från vattendomen till bottenlådorna och "falltuber/stigtuber" i tubsatsen).

SANDVIK® 3R12/4L7 och övriga Sandviks material är registrerade varumärken.

Användningen av bar resp. MPa har tyvärr inte kunnat hållas konsekvent, utan har fått anpassas till respektive sammanhang. 1 MPa = 9,81 bar. Begreppet bar är egentligen obsolet.

12 Diverse referenser

- 1) Tryckkontroll av rörskarvar – ett slag i luften? Svetsen nr 3/2020 sid 50-53 och nr 4/2020.
- 2) Arbetsmiljöverkets föreskrifter AFS 2016:1 och AFS 2017:3
- 3) AB Sandvik Material Technology:s Tekniska rapport, dat. 2020-11-15. "Sprängprovning av kompondrör med defekta svetsar." Sodahuskommittén rapport 2020-2.
<https://sodahuskommitten.se/rapportregister>
- 4) AB Sandvik Material Technology:s produktbeskrivning "SANDVIK® composite tubes 3R12-4L7 S-1219-PS-ENG", <https://www.materials.sandvik/en/products/tube-pipe-fittings-and-flanges/tubular-products/composite-tubes/>
- 5) Jan Hult, "Bära, brista", del 2.
- 6) Sodahuskommittén rapport 2007-2: "Tryckkontroll vid återkommande besiktning/revisionsbesiktning". Fredrik Bruno, AB ÅF 2007-03-15
<https://sodahuskommitten.se/rapportregister>
- 7) Karl Wellinger och Karl Lehr: "Zur Spannungsinduzieren Korrosion..." Mitteilungen der VGB, juni 1960, sid. 190
- 8) W. Schoch & H. Spähn: "Über die Rolle der Spannungsinduzierten korrosion..." VGB Werkstofftagung, Düsseldorf 1971
- 9) F. Bruno: Fortiweld, Ångpanneföreningen 1975-05-21.
- 10) F. Bruno: "Thermochemical influence of chlorides and sulphureous compounds on the corrosion in boilers." Symposiet "Rauchgasseitige Dampferzeugerkorrosion". sid. 31-56, SAXONIA, Freiberg 2003

Ansvarsfriskrivning

Detta dokument utgör reflektioner baserade på de tillhandahållna material, offentliga publikationer och egen erfarenhet. Det är upp till den som tar del av innehållet att på egen risk och på eget ansvar följa eventuella rekommendationer och riktlinjer som i förekommande fall kan anses följa av dokumentets innehåll. Författaren frånskriver sig allt ansvar för fel och skada oavsett orsak som kan följa av att rekommendationer eller riktlinjer i dokumentet följs. Det är upp till läsaren att själv, i sin riskbedömning, avgöra om man vill följa eventuella rekommendationer och riktlinjer. Det åligger också läsaren att vid tillämpningen stämma av med tillämpliga myndigheter att rekommendationerna och riktlinjerna är i överensstämmelse med gällande rätt och andra föreskrifter