

5. Cercetări cu privire la performanța conductelor de oțel reabilite prin cămășuire torcretată

5.1. Considerații introductive

La rezolvarea problemelor legate de coroziunea conductelor metalice, metodele/tehnicile de reabilitare/reparație trebuie să răspundă următoarelor cerințe:

- etanșeizarea scurgerilor;
- stoparea evoluției coroziunii;
- restabilirea performanței mecanice a conductei.

Când conductele sunt afectate pe zone extinse, reabilitarea lor presupune cămășuirea completă. Torcretarea conductelor la interior cu straturi subțiri de beton simplu este o metodă tradițională de reparație/reabilitare, care asigură protecția împotriva coroziunii și îmbunătățește proprietățile lor hidraulice. Cu toate acestea, pentru a îmbunătăți rezistența la fisurare este necesară înglobarea unor plase de armătură, în mod tradițional din oțel-beton, ceea ce conduce la cămășuiri cu grosimi mari, consumuri mari de oțel și manoperă ridicată. De aceea, metoda devine costisitoare și lentă, fiind dificil de implementat pe segmente lungi de conductă.

În prezent, noua generație de materiale cimentoase armate dispers/discret (de exemplu, beton armat cu fibre, materiale compozite de nouă generație, mortare de reparații structurale etc.) oferă alternative versatile la tehnicile și metodele de reparații cu învelișuri compozite (vezi capitolul 3). Chiar dacă presupune devierea completă, curățarea și grunduirea conductelor, implementarea acestor materiale asigură îndeplinirea tuturor cerințelor de bază și asigură durabilitatea conductelor reparate.

5.2. Distribuția tensiunilor în pereții conductelor metalice

Presiunea exercitată de apa din sistemele de distribuție acționează pe direcțiile longitudinală și tangențială, generând tensiuni în pereții conductelor. Tensiunile longitudinale apar din cauza presiunii interne care acționează în lungul conductei, în timp ce tensiunile tangențiale apar din cauza acțiunii presiunii perpendicular pe interiorul peretelui de conductă. Griffel [94] propune aplicarea relațiilor rezistenței

materialelor pentru calculul tensiunilor datorate presiunii apei p_i (Figura 5.1) într-o conductă cu grosimea t și diametrul interior D_i :

tensiunile tangențiale σ_t

$$\sigma_t = \frac{p_i D_i}{2t}, \quad (5.1)$$

tensiunile longitudinale/axiale σ_x

$$\sigma_x = \frac{p_i D_i}{4t}. \quad (5.2)$$

Mărimea acestor tensiuni nu este uniformă în pereții conductei din cauza variației grosimii pereților acesteia, ca urmare a coroziunii extinse (influența asupra diametrului interior se poate neglija). De asemenea, spoturile locale de coroziune și orificiile de scurgeri existente (rotunde, radiale sau longitudinale), discontinuitățile sau neomogenitățile de material datorate sudurilor, indentațiile (produse din diverse cauze atât mecanice cât și chimice) și nu în ultimul rând voalarea conductei (pierderea locală de stabilitate) sunt factori ce influențează tensiunile din pereții conductei.

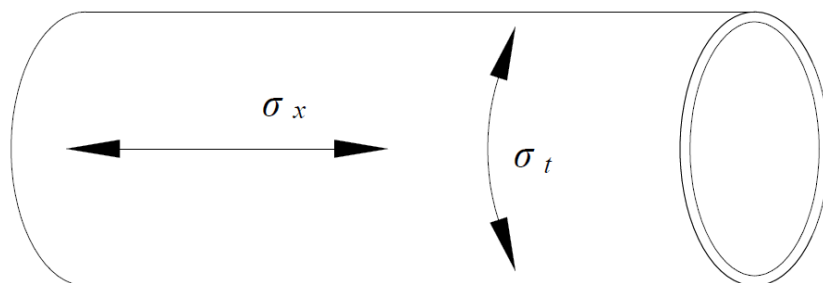


Figura 5.1 Tensiuni în pereții conductei datorate presiunii apei

5.2.1. Influența orificiilor/golurilor tehnologice

Mărimea unui orificiu afectează distribuția tensiunilor în pereții conductelor. Studiile discontinuităților de material de acest tip arată că efectul lor asupra mărimii tensiunilor este local (Timoshenko și Goodier [95]), iar tensiunile devin uniforme pe măsură ce distanța până la marginea orificiului crește. Pentru placa întinsă uniform de o tensiune σ_{nom} și un gol central mic de rază a , considerând principiul lui Saint-Venant se poate afirma că schimbarea în starea de tensiuni este nesemnificativă la

distanțe mari în comparație cu raza golului a . Tensiunile la distanța b (jumătate din lățimea plăcii) de centrul plăcii și al golului sunt practic aceleași ca în restul plăcii, neafectate de gol (vezi Figura 5.2).

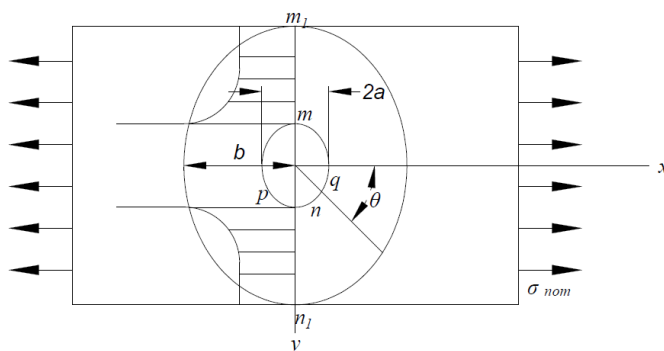


Figura 5.2 Placă solicitată la întindere uniformă cu gol circular central

Propunând o funcție de tensiune în interiorul cercului de rază b ,

$$\Phi = f(r) \cos 2 \theta, \tag{5.3}$$

Timoshenko și Goodier [95] au substituit-o în relația diferențială de compatibilitate a tensiunilor și punând condițiile de contur au obținut starea plană de tensiuni (vezi Figura 5.3).

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \frac{\sigma_{nom}}{2} \left(1 - \frac{a^2}{r^2} \right) + \frac{\sigma_{nom}}{2} \left(1 + 3 \frac{a^4}{r^4} - 4 \frac{a^2}{r^2} \right) \cos 2 \theta, \\ \sigma_\theta &= \frac{\sigma_{nom}}{2} \left(1 + \frac{a^2}{r^2} \right) - \frac{\sigma_{nom}}{2} \left(1 + 3 \frac{a^4}{r^4} \right) \cos 2 \theta, \\ \tau_{r\theta} &= -\frac{\sigma_{nom}}{2} \left(1 - 3 \frac{a^4}{r^4} + 2 \frac{a^2}{r^2} \right) \sin 2 \theta. \end{aligned} \tag{5.4}$$

Tensiunea maximă care apare în jurul unui orificiu/gol tehnologic este semnificativ mai mare decât tensiunile din restul peretelui conductei. Această concentrare de tensiune poate fi exprimată prin introducerea unui factor de concentrare a tensiunilor, K_σ .

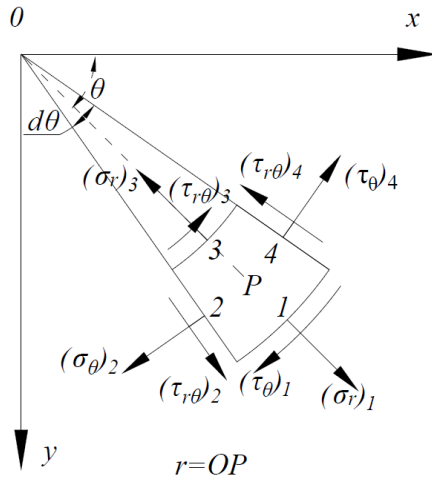


Figura 5.3 Tensorul tensiunilor pe direcția radială [95]

Acest factor este de fapt raportul dintre tensiunea maximă și cea nominală din material:

$$K_{\sigma} = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{nom}} \quad (5.5)$$

Pentru cazul de mai sus (Figura 5.2), factorul de concentrare a tensiunilor este $K_{\sigma}=3$ (Figura 5.4):

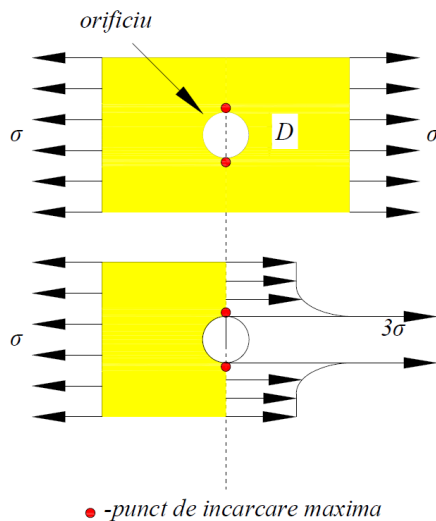


Figura 5.4 Concentrarea tensiunilor la un orificiu circular

Pentru situația particulară din Figura 5.5.a, Howland [96] a identificat un factor $K_\sigma=4.3$, iar pentru cazul forfecării pure din Figura 5.5.b Timoshenko și Goodier [95] au stabilit o valoare $K_\sigma=4.0$.

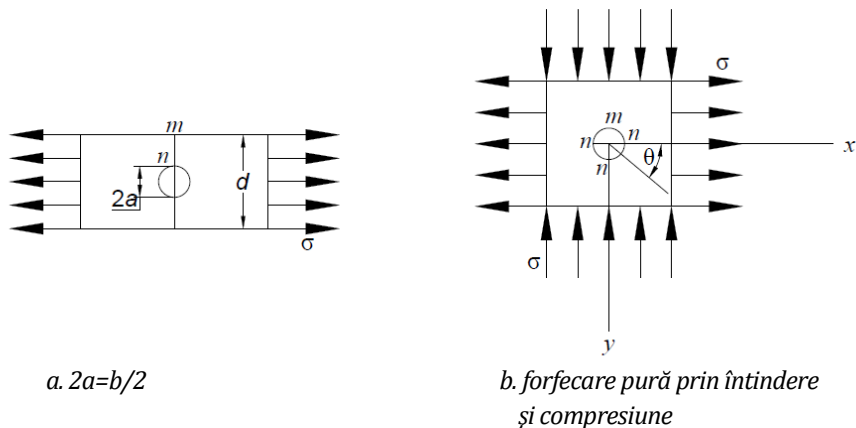


Figura 5.5 Cazuri de concentrări de tensiuni

Valorile de mai sus se pot aplica doar în limitele de comportare elastice a materialului. Pentru domeniile de comportare plastice, Neuber [97] introduce o regulă prin definirea unui factor efectiv de concentrare a deformațiilor specifice

$$K_\varepsilon = \frac{\varepsilon_{max}}{\varepsilon_{nom}}, \quad (5.6)$$

și a factorului teoretic de concentrare a tensiunilor definit ca media geometrică a factorilor efectivi K_σ și K_ε :

$$K_t = \sqrt{K_\sigma K_\varepsilon}. \quad (5.7)$$

Din relațiile 5.5-5.7 rezultă

$$K_t = \sqrt{\frac{\sigma_{max} \varepsilon_{max}}{\sigma_{nom} \varepsilon_{nom}}}. \quad (5.8)$$

Tensiunea nominală σ_{nom} se află aplicând formulele rezistenței materialelor (considerând secțiunea brută sau după caz, secțiunea nominală), iar din diagrama caracteristică (Figura 5.6) rezultă deformația specifică nominală ε_{nom} . Pentru o serie

de cazuri particulare K_t are expresii derivate din teoria elasticității, descrise în detaliu de Pilkey și Peterson [98]. Aplicând și relația uniaxială tensiune-deformație specifică $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ rezultă cu ușurință valorile maxime ale tensiunii și deformației, respectiv factorii de concentrare efectivi K_σ și K_ε .

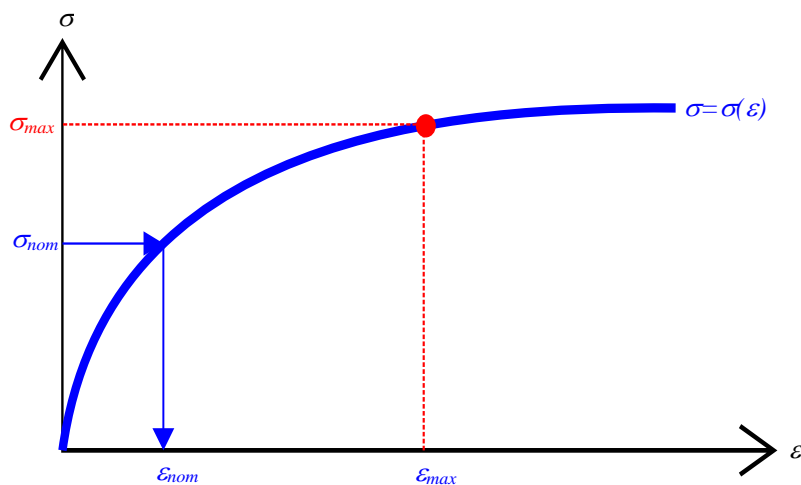


Figura 5.6 Diagrama uniaxială σ - ε și puncte caracteristice

Acești factori de concentrare a tensiunilor pot fi aplicați atât pentru goluri tehnologice cât și pentru orificii apărute în urma degradării peretelui conductei.

5.2.2. Influența sudurilor

Îmbinarea prin sudură este, conform SR ISO 857/1994, un procedeu tehnologic de îmbinare nedemontabilă a două sau mai multe piese realizată printr-un procedeu oarecare de sudare, în așa fel încât să se obțină o legătură metalică de egală rezistență, care să prezinte siguranță în execuție și exploatare [99].

Practica curentă cunoaște o gamă largă de procedee de sudare, clasificabile după poziția relativă a pieselor îmbinate (Figura 5.7).

În lucrările de instalații pentru transportul apei, dar și a gazelor naturale prin conducte metalice este folosită sudura cap la cap. Această metodă de îmbinare prezintă numeroase avantaje, comparativ cu alte tipuri de îmbinare utilizate: reducerea consumului de metal (cu 30-50%), viteza mai mare de execuție, proprietăți mecanice superioare (comparativ cu îmbinările cu flanșe, filetate, presate etc.), dimensiuni de gabarit reduse, complexitate și formă adaptabilă cerințelor, etanșitate, echipamentele de sudare sunt simple și relativ ieftine [99].

Cu toate acestea, îmbinarea prin sudură are și câteva dezavantaje: defectele sunt greu identificabile, calitatea depinde de calificarea mâinii de lucru și de calitatea echipamentelor și materialelor folosite, apar zone cu caracteristici chimice și fizice diferite datorită materialului de adaos, neregularităților – atât geometrice cât și de material, a cordonului de sudură, modificării termice a proprietăților materialului conductei etc. [99-102].

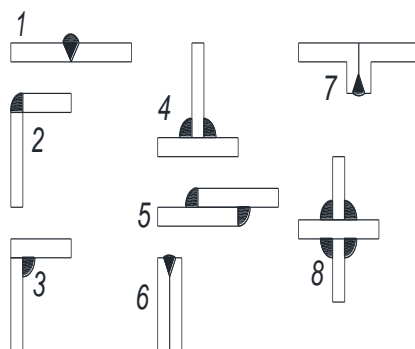


Figura 5.7 Tipuri de îmbinări sudate : 1. cap la cap, 2. în colț exterior, 3. în colț interior, 4. în T, 5. prin suprapunere, 6. în muchie, 7. cu margini răsfrânte, 8. în cruce [99]

Aceste alterări locale ale caracteristicilor peretelui conductei conduc la concentrarea tensiunilor în regiunea îmbinării, așa cum arată Thomas [102].

Având în vedere complexitatea variabilelor ce intervin în calcularea factorului de concentrare a tensiunilor K_σ pentru un cordon de sudură (rostul de sudare, rădăcina cusăturii, metalul depus, pătrunderea sudurii, zona influențată chimic, zona influențată termic etc.) o evaluare generalizată a acestora nu este posibilă.

În cazurile particulare, unde este nevoie de o precizie crescută, se poate apela la metode numerice (metoda elementului finit), cu rezerva că anumite caracteristici ale materialelor nu pot fi cunoscute exact, ele depinzând de calitatea manoperei, de variații de calitate a materialului de bază și de adaos, de condițiile specifice de lucru etc.

Datorită acestei incertitudini, o evaluare exactă nu este posibilă nici în această situație, ajungându-se, în cel mai fericit caz, doar la o estimare mai exactă.

Astfel, în marea majoritate a cazurilor prezente în inginerie, se aleg valori conservative pentru tensiunile maxime admisibile, în funcție de caracteristicile materialului de bază, respectiv rezistența maximă admisibilă [99]:

Tracțiune	$\sigma_{as} = 0.80 \sigma_a$	(5.9)
-----------	-------------------------------	-------

Compresiune	$\sigma_{as} = \sigma_a$	(5.10)
-------------	--------------------------	--------

Forfecare	$\tau_{as} = 0.65 \sigma_a$	(5.11)
-----------	-----------------------------	--------

Aceste valori iau în calcul atât factorul de concentrare a tensiunilor K_σ , cât și modificarea caracteristicilor materialului în zona sudată.

Într-o publicație recentă, Molski K.L și Tarasiuk P [103] au realizat o analiză cuprinzătoare a concentrării tensiunilor rezultate din eforturi de întindere, forfecare și flambare în zona afectată de sudura cap la cap. Se arată necesitatea estimării cât mai exacte a factorului de concentrare a tensiunilor K_σ , precum și faptul că până în prezent metodele de estimare pot genera rezultate subevaluate cu 7-9%. Astfel, sunt propuse formule numerice de calcul a K_σ pentru cele trei cazuri de interes: întindere, forfecare și flambare atât pentru sudura în V cât și pentru cea în dublu V (Figura 5.8).

Autorii propun, pentru calcularea factorului de concentrare a tensiunilor o funcție polinomială ce ține seama de caracteristicile fizice ale cusăturii, precum și de încărcările exercitate asupra ei.

La compararea rezultatelor astfel obținute cu cele obținute prin metoda elementului finit (MEF), precizia a fost de peste 97.5%.

Datorită abaterilor și toleranțelor prezente în materialul tubular, precum și a variațiilor de execuție de la o sudură la alta, metoda din [103] are de cele mai multe ori o aplicabilitate limitată, mai ales în cazul îmbinării conductelor.

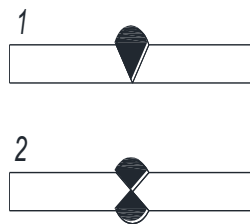


Figura 5.8 Tipuri de sudură cap la cap, 1. sudură în V; 2. sudură în dublu V

Recomandările tehnice pentru realizarea structurilor metalice marine [104] tratează de asemenea, în detaliu, subiectul concentrării tensiunilor în îmbinările sudate ale materialului tubular. Astfel, în cazul acestor îmbinări, lucrarea sugerează că excentricitățile dintre elementele îmbinate sunt principala cauză a concentrării tensiunilor în sudurile circumferențiale.

Acestea pot fi, conform aceleiași lucrări, excentricități concentrice – cauzate de diferențe în diametrul conductelor îmbinate, diferențe de grosime a peretelui conductelor îmbinate, deformări ale conductelor îmbinate sau excentricitatea axelor

conductelor. Excentricitatea finală poate fi evaluată conservativ prin însumarea excentricităților din cauzele mai sus expuse.

În practică se constată că principala cauză ce contribuie la excentricitatea totală δ a îmbinărilor sudate este deformarea/ovalizarea conductelor, fenomen favorizat de creșterea diametrului (și implicit scăderea SDR) conductelor.

Pentru îmbinările dintre tronsoane având grosimea pereților egale sau aproape egale, caz ce reprezintă marea majoritate a cazurilor întâlnite în cadrul sistemelor de transport al apei, documentul propune formula:

$$K_{\sigma} = 1 + \frac{3(\delta_m - \delta_0)}{t} \cdot e^{-\alpha}, \quad (5.12)$$

unde:

K_{σ} - factorul de concentrare a tensiunilor,

δ_m - excentricitatea totală,

$\delta_0 = 1/t$ - excentricitatea intrinsecă în diagrama Wohler și în metodologia de evaluare V (Figura 5.9),

$$\alpha = \frac{0.91 \cdot L}{\sqrt{D \cdot t}},$$

t - grosimea peretelui conductei,

L - lățimea cordonului de sudură,

D - diametrul conductei.

În cazul în care sunt impuse toleranțe foarte mici, documentul recomandă alegerea $\delta_0 = 0$. Această constantă este introdusă în ecuație pentru a reprezenta împrăștierea statistică a toleranțelor în combinație cu dispersia datelor observaționale cu privire la devierea curbei Wohler. Prin urmare, dacă valoarea toleranței este cunoscută, această valoare ar trebui utilizată în formula de calcul a factorului de concentrare a tensiunilor, împreună cu $\delta_0 = 0$.

În cazul punctelor fixe, ancorelor, sistemelor de fixare, recomandarea de a impune $\delta_0 = 0$ se datorează faptului că, în acestea, îmbinările sudate sunt solícitate în mod similar și o eventuală cedare este cel mai probabil să apară în punctul cel mai slab.

Având în vedere însă faptul că tensiunile suplimentare cauzate de toleranțele de fabricație sunt mici în zona tălpii sudurii, în cazul sudurilor în V realizate dintr-o singură parte (metoda predominant folosită la îmbinarea conductelor) standardul sugerează că K_{σ} poate fi considerat, în acest caz, egal cu 1.0.

Pe de altă parte, conductele de diametru mare din oțel folosite în lucrările de transport al apei și al altor fluide sunt realizate prin metoda sudării în spirală/elicoidale, mai rar prin sudare longitudinală. Acest fapt impune câteva cerințe

prevăzute în normativele specifice: decalarea sudurilor astfel încât să se elimine sudurile în cruce, plasarea sudurilor longitudinale pe axa neutră în cazul schimbărilor de direcție (axa superioară/inferioară în cazul curbelor în plan orizontal, axele laterale în cazul schimbărilor de direcție în plan vertical), obligativitatea folosirii ecliselor/guseelor de sudură de la anumite diametre în sus etc.

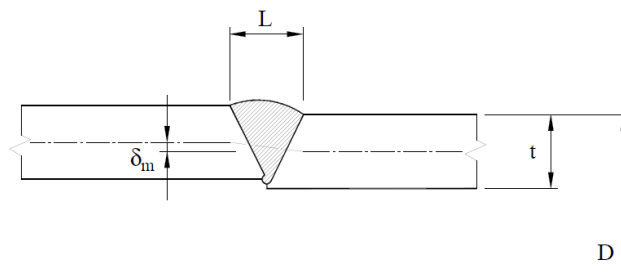


Figura 5.9 Secțiune transversală printr-un cordon de sudură în V [104]

Aceste limitări, atât tehnologice cât și legislative, conduc la suduri cu caracteristici comportamentale comparabile cu a materialului tubular.

Totodată, datorită specificului conductelor metalice folosite – rezistență mecanică mare a pereților comparativ cu încărcările suferite de aceștia din alte cauze decât presiunea interioară, precum și datorită coeficienților de siguranță impuși prin probele de rezistență (de obicei 1.5 ori presiunea de regim, dar putând ajunge în unele cazuri și la valori mai mari) [105], rezistență mai scăzută a îmbinărilor sudate comparativ cu peretele conductei și/sau factorii de concentrare a tensiunilor în zona sudurii nu sunt de importanță critică în marea majoritate a cazurilor, fiind suficiente estimările (5.9)-(5.11).

5.2.3. Influența voalărilor

Conductele pentru transportul apei precum și al altor fluide, pot prezenta pe suprafața lor voalări. Cauzele producerii acestora sunt diverse: lovituri, intervenții asupra conductei, deplasarea conductei de pe reazeme, lovitura de berbec, tasarea solului, îngheț/dezgheț, defecte de material, depășirea presiunii maxime admise sau apariția vacuumului în interiorul conductei etc.

În general voalările nu sunt caracterizate prin pierdere de material sau modificări de natură chimică (Figura 5.10).

Pentru materialul nou, prezența acestora este admisă cu condiția ca dimensiunile lor să fie sub cele ale abaterilor maxime admise pentru materialul respectiv.

În țara noastră, tratarea defectelor apărute după punerea în operă se face de la caz la caz, criteriul principal fiind siguranța în exploatare.

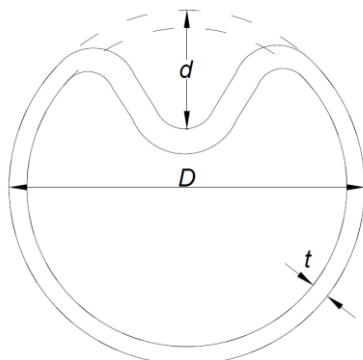


Figura 5.10 Conductă voalată - secțiune transversală, D - diametrul exterior al conductei, d - diametrul voalării sferice, t - grosimea peretelui conductei

Cosham A și Hopkins P. [106] au realizat o cercetare cu scopul de a evidenția efectul voalărilor asupra capacității de funcționare a conductelor pentru transportul produselor petroliere. Rezultatele lor sunt aplicabile și în cazul altor fluide transportate.

Astfel, autorii cataloghează voalările astfel:

- voalare lină – caracterizată printr-o schimbare lină a curburii peretelui conductei;
- voalare abruptă – caracterizată printr-o schimbare bruscă în curbura peretelui conductei, cea mai mică rază a curburii fiind sub o cincime din grosimea peretelui;
- voalare netedă – o voalare lină la care nu sunt prezente pierderi de material din grosimea peretelui (cum ar fi crăpături sau adâncituri/cavități) și nici imperfecțiuni ale suprafeței conductei (cum ar fi suduri, fie ele de circumferință sau de îmbinare);
- voalare neconstrânsă – peretele conductei poate reveni la forma inițială odată cu dispariția factorului ce a cauzat-o, sub efectul presiunii interne;
- voalare constrânsă – peretele conductei nu poate reveni la forma inițială datorită faptului că factorul ce a cauzat-o rămâne pe loc (o piatră în patul de nisip, o deplasare permanentă a reazemelor).

Autorii fac o recapitulare a cercetărilor legate de concentrarea tensiunilor în voalări de diverse tipuri, centralizând următoarele concluzii:

- voalările cauzează o concentrare locală a tensiunilor, concomitent cu o reducere a diametrului interior;
 - în cazul voalărilor netede, factorul cel mai important în afectarea rezistenței la presiune și oboseală este adâncimea acestora. Profilul voalării nu apare să fie un factor de influență majoră, câtă vreme aceasta este netedă;
 - voalările netede nu reduc semnificativ rezistența la presiune a conductei;
 - voalările scurtează durata de viață a porțiunii afectate, grăbind degradarea cauzată de oboseală, comparativ cu tronsoane netede, fără voalări;
 - voalările constrânse nu reduc semnificativ rezistența la presiune a conductei;
 - durata de viață a unei voalări netede constrânse este mai mare decât cea a unei voalări netede neconstrânse de adâncime similară;
 - voalările abrupte au o durată de viață scurtă și o presiune la care cedează extrem de mică;
 - rezistența la presiune a unei suduri voalate sau a unei voalări ce conține adâncituri sau fisuri poate fi semnificativ mai mică, comparativ cu o adâncitură netedă echivalentă;
 - adițional, voalările pot genera și alte probleme, în afara celor structurale: crearea unui regim de curgere turbulent, cavitație, acumularea de depuneri, modificări ale pierderilor de presiune liniare și locale, modificări ale vitezei de curgere etc.

Spre deosebire de alte materiale, conductele prezintă o serie de caracteristici ce diminuează efectele voalărilor: suprafața este curbă, cu o grosime a peretelui relativ mare comparativ cu raza de curbură, există, de cele mai multe ori, o diferență de presiune între interiorul și exteriorul conductei, conducta este sprijinită/susținută fie pe rezeme fie prin îngropare în sol etc. [106].

În plus, procesul de apariție a voalărilor implică, după [106], deformații atât din domeniul elastic cât și din cel plastic. Astfel, odată cu îndepărtarea factorului cauzator, peretele conductei va reveni în oarecare măsură spre forma inițială.

Adâncimea unei voalări în peretele unei conducte se modifică de asemenea în funcție de presiunea internă. Conducta are tendința de a reveni la forma inițială, cilindrică, sub efectul creșterii presiunii interioare. Această revenire poate fi elastică (nepermanentă) sau plastic, având ca efect o micșorare permanentă a adâncimii voalării. În cazul încărcărilor ciclice cauzate de variațiile de presiune internă, voalările pot manifesta o revenire ciclică incrementală ajungând să dispară aproape complet – revenire cvasitotală, până la adâncimi de dimensiuni comparabile cu deformările elastice.

Revenirea unei voalări depinde de forma conductei, proprietățile mecanice ale materialului peretelui, presiunea pozitivă sau negativă din interiorul conductei, precum și de forma voalării.

Concentrarea tensiunilor în voalări este o funcție ce ține seama de adâncimea acestora, influențată la rândul său de efectul de revenire.

Totodată, comportamentul de revenire depinde de încărcările din momentul formării. Astfel, voalările apărute în timpul funcționării sunt caracterizate de existența unei presiuni interioare diferite de cea exterioară, în vreme ce defectele apărute în timpul lucrărilor de lansare sunt caracterizate de absența diferențelor de presiune.

Astfel, se pot trage următoarele concluzii [106]:

- revenirea este un fenomen influențat de forma voalării: voalările lungi revin mai mult ca cele scurte și fac acest lucru mai cu seamă la mijloc, nu la capete;
- voalările netede manifestă o revenire mai accentuată comparativ cu cele abrupte sau cele ce conțin modificări bruște ale curburii;
- voalările din conducte presurizate tind spre o revenire mai accentuată comparativ cu cele din conducte nepresurizate;
- voalările sunt împinse în exterior (spre forma inițială) odată cu creșterea presiunii interne;
- revenirea este influențată de natura reazemelor laterale prezente pe circumferință la momentul voalării;
- voalările în conducte cu pereți subțiri revin mai mult comparativ cu cele din conducte cu pereți groși.

Pentru evaluarea factorului de concentrare a tensiunilor K_{σ} , Bianca de Carvalho Pinheiro și colaboratorii [107] au dezvoltat un model utilizând metoda elementului finit pentru voalări netede în pereții conductelor supuse încărcărilor ciclice.

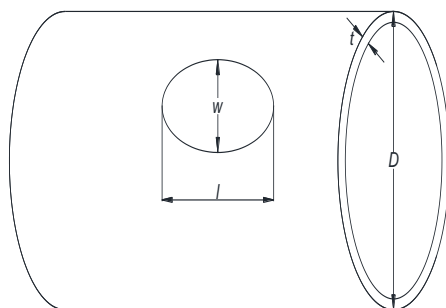


Figura 5.11 Conductă voalată – vedere laterală, D - diametrul exterior al conductei, t - grosimea peretelui conductei, l - lungimea voalării, w - lățimea voalării

Modelul a fost aplicat pentru diferite configurații, diametrul voalării sferice variind între 25% și 100% din diametrul exterior al conductei, iar SDR-ul conductelor între 20 și 60. După derularea simulărilor și a experimentelor, autorii au propus în final formula:

$$K_{\sigma} = 1 + 1.423 \left(\frac{D}{t}\right)^{0.67} \left(\frac{d}{D}\right)^{0.62} \left(\frac{l}{w}\right), \quad (5.13)$$

unde:

K_{σ} - factorul de concentrare a tensiunilor

D - diametrul exterior al conductei (Figura 5.11)

t - grosimea peretelui conductei (Figura 5.11)

d - diametrul voalării sferice (Figura 5.10)

l - lungimea voalării, măsurată în lungul conductei (Figura 5.11)

w - lățimea voalării, măsurată tangențial (Figura 5.11)

Comparând rezultatele obținute prin metode numerice cu cele obținute aplicând formula (5.13), autorii concluzionează că aproximația este foarte bună pentru $K_{\sigma} \leq 5$ [107].

5.2.4. Influența adânciturilor/cavităților

Un alt defect comun prezent la suprafața pereților conductelor sunt adânciturile.

Astfel, o adâncitură/cavitate este un defect de suprafață caracterizat prin pierdere de material din peretele conductei. Adâncimea acesteia este considerată ca fiind egală cu adâncimea pierderii de metal la care se adună adâncimea eventualelor crăpături/fisuri de la baza ei (Figura 5.12).

Cauzele producerii acestor defecte sunt extrem de variate: coroziune, lovituri, contact cu corpuri dure, deplasarea conductei de pe reazeme, tasarea solului, îngheț/dezgheț, defecte de material etc.

Pentru materialul tubular nou, prezența adânciturilor/cavităților este admisă atâta timp cât adâncimea lor este sub limita abaterilor maxime admise pentru materialul respectiv.

Pentru defectele apărute în timpul exploatării conductelor, în țara noastră, evaluarea și gestionarea acestora se face de la caz la caz, criteriul principal fiind siguranța în exploatare.

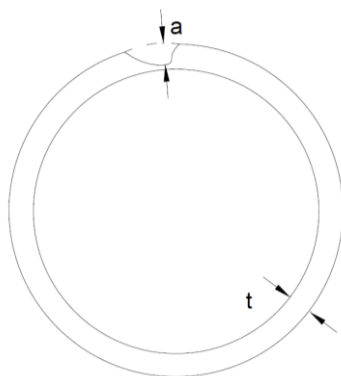


Figura 5.12 Conductă cu defect de tip adâncitură/cavitate – secțiune transversală, a – adâncimea defectului, t – grosimea peretelui conductei

Wei Yan și colaboratorii [108] au studiat influența adânciturilor produse de coroziune asupra tensiunilor din pereții conductelor de oțel. În lucrarea lor, autorii demonstrează, folosind atât datele experimentale cât și metodele numerice de dată recentă, că tensiunile sunt concentrate de prezența adânciturilor și că mărimea factorului de concentrare a tensiunilor (K_σ) depinde în principal de adâncimea defectului, suprafața acestuia având o mai mică influență. Mai mult, odată ce această adâncime atinge jumătate din grosimea peretelui, se constată o accelerare a creșterii factorului de concentrare a tensiunilor. De asemenea, distanța dintre adâncituri, distanță care se modifică în timp datorită efectului de coroziune, are o influență majoră.

Astfel sunt propuse următoarele formule de calcul pentru determinarea factorului de concentrare a tensiunilor în cazul adânciturilor semisferice (o aproximare extrem de precisă a adânciturilor prezente pe pereții conductelor, conform aceleiași surse [108]):

$$K_\sigma = \frac{\frac{27 - 15\vartheta}{14 - 10\vartheta}}{1 - k_1 \cdot \frac{a^3}{t^3} - k_2 \cdot \frac{t^5}{t^5}}, \quad (5.14)$$

cu:

$$k_1 = -\frac{27 - 15\vartheta}{14 - 10\vartheta} \cdot \frac{5 - 4\vartheta^2}{(6 - 4\vartheta) \cdot (1 + \vartheta)} + 2.5,$$

$$k_2 = \frac{27 - 15\vartheta}{14 - 10\vartheta} \cdot \frac{5 - 4\vartheta^2}{(6 - 4\vartheta) \cdot (1 + \vartheta)} - 1.5,$$

unde:

ϑ - coeficientul lui Poisson pentru metalul din care este realizată conducta

a - adâncimea defectului

t - grosimea peretelui conductei.

În cazul în care distanța dintre marginile adânciturilor este mai mică de 1 inch (25.4mm), conform [109], acestea se influențează reciproc din punctul de vedere a factorului de concentrare a tensiunilor.

Bazându-se pe cercetările lui Wang și Yang [110], Wei Yan și colaboratorii [108] concluzionează că, în cazul adânciturilor duble, este necesar un coeficient de ajustare a valorii factorului de concentrare a tensiunilor egal cu: $f = 2.6/2 = 1.3$, rezultând astfel:

$$K_r = 1.3 \cdot K_\sigma = 1.3 \cdot \frac{\frac{27 - 15\vartheta}{14 - 10\vartheta}}{1 - k_1 \cdot \frac{a^3}{t^3} - k_2 \cdot \frac{t^5}{t^5}} \quad (5.15)$$

Pentru cazul extrem de comun întâlnit în practică al adânciturilor multiple, lucrarea propune de asemenea un factor de concentrare a tensiunilor $K_\sigma = 2.6$ în vederea modificării modelului analitic de calcul al factorului de concentrare a tensiunilor.

5.3. Influența încărcărilor exterioare asupra tensiunilor din conductele metalice

5.3.1. Generalități

Conductele pot fi poziționate îngropat în sol, la suprafața solului sau la înălțime (pe estacade, stâlpi console etc.). În funcție de pozare, asupra pereților acestora pot acționa forțe mai mult sau mai puțin importante.

În general, în cazul conductelor pozate aerian sau la suprafața solului acționează în mod curent doar forțe cauzate de masa conductei și a fluidului transportat. Asupra conductelor îngropate sau parțial îngropate însă, se pot manifesta, așa cum s-a descris în capitolele precedente, încărcări cauzate de contactul intim cu solul: încărcări din împingerea pământului, îngheț, datorate flotării conductei-în cazul în care aceasta se goleşte, încărcări cauzate de dilatare/contractare, deplasarea sau distrugerea masivelor de ancorare.

Totodată mai pot apărea și solicitări accidentale atât din cauze naturale – cutremure, secete prelungite, inundații, îngheț profund, sau artificiale – accidente, lucrări, neglijență etc. [14].

Pe de altă parte, eforturile din pereții conductelor pot varia în funcție de metoda de lansare folosită: cu tranșee deschisă, prin tunelare etc.

5.3.2. Încărcări cauzate de umplutură

De-a lungul timpului, mai multe colective au studiat fenomenele ce apar în cazul conductelor îngropate.

Wijewickreme D. face o analiză succintă a sarcinilor statice și dinamice ce pot acționa asupra unei conducte îngropate și a presupunerilor ce stau la baza calculului [111]. Astfel, tensiunile verticale, respectiv horizontale sunt exprimate folosind formulele:

$$\sigma'_v = \gamma \cdot H, \tag{5.16}$$

$$\sigma'_h = K \cdot \sigma'_v, \tag{5.17}$$

unde:

σ'_v - tensiunea verticală manifestată la o anumită adâncime,

σ'_h - tensiunea orizontală manifestată la o anumită adâncime,

γ - greutatea specifică a solului de deasupra conductei,

H - adâncimea măsurată de la suprafața solului până la punctul de interes,

K - coeficient de împingere laterală a pământului (în condiții de repaus acesta se consideră $K = K_0$, unde K_0 este coeficientul de împingere a pământului în stare de repaus [111]).

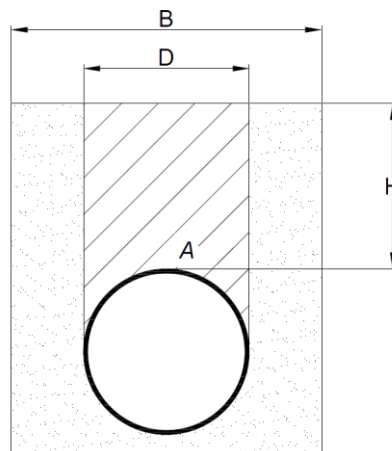


Figura 5.13 Reprezentarea încărcării produse de prisma de pământ situată deasupra conductei, A - generatoarea superioară a conductei îngropate, B - lățimea tranșeei, D - diametrul exterior al conductei, H - adâncimea măsurată de la suprafața solului până la generatoarea superioară [111]

Pentru aflarea sarcinii statice totale ce acționează asupra unei secțiuni de lungime oarecare de conductă se folosește, în cazul tubulaturii realizate din materiale flexibile, masa pământului cuprins într-o prismă având lățimea egală cu diametrul conductei și înălțimea egală cu adâncimea până la generatoarea superioară a acesteia.

Teoria general acceptată în zilele noastre cu privire la încărcările rezultate din acest efort vertical a fost propusă de către Marston [112]. El a presupus astfel că tasarea umpluturii în jurul conductei generează forțe de forfecare și/sau de frecare pe malurile tranșeei. Pornind de la aceste presupuneri încărcările cauzate de pământ asupra unei conducte rigide se pot afla cu ajutorul formulelor:

$$q = C_d \cdot \gamma \cdot B_d, \quad (5.18)$$

$$C_d = \frac{1 - \exp\left(-2 \frac{K_\mu \cdot H}{B_D}\right)}{2K_\mu}, \quad (5.19)$$

unde:

q - sarcina rezultată din apăsarea terenului,

B_d - lățimea săpăturii în metri (uzual egală cu diametrul conductei + 0.50÷0.80m),

γ - greutatea specifică a solului de deasupra conductei,

K_μ - coeficient de frecare al terenului (valoarea uzuală este 0.15),

H - adâncimea de îngropare a conductei, măsurată de la suprafața solului până la generatoarea superioară.

În situația în care deasupra conductelor se poziționează construcții rigide și masive (maluri de pământ, diguri, baraje, masive de ancorare, etc) sau în cazul tranșeelor late umplute cu sol compactat, efectul de boltă inversă poate contribui la creșterea eforturilor verticale peste valorile induse de greutatea umpluturii de pământ.

R. L. Handy și M.G. Spanger [113] au descris în anul 2007 fenomenele sintetizate în Figura 5.14, iar mai recent, în anul 2019 Mahgoub și colaboratorii [114] abordează din nou subiectul într-un studiu privind posibilitatea reducerii efectelor nedorite prin acoperirea parțială a conductelor îngropate cu TDA (*tire derived aggregate*), un material de umplură produs prin măcinarea deșeurilor de anvelope auto, cu rolul de a imita proprietățile fizice ale umpluturii necompactate.

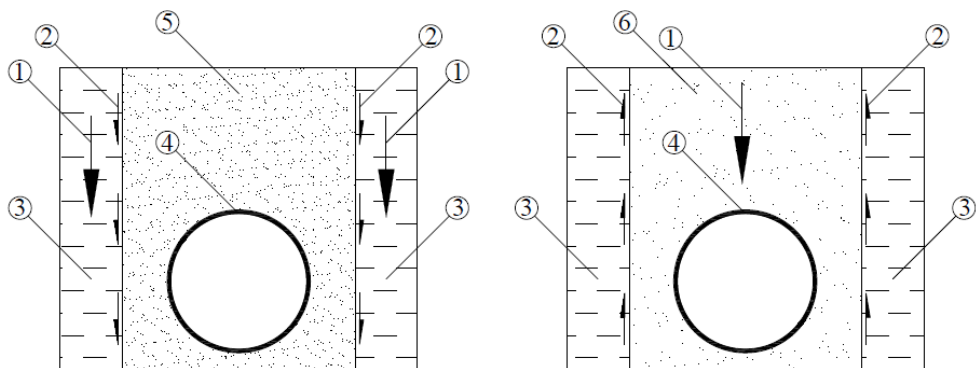


Figura 5.14 Efectul de boltă și respectiv boltă inversă produs asupra pereților conductei de tasarea umpluturii, 1-direcția tasării relative, 2-forțe de forfecare/ frecare cauzate de tasarea relativă, 3-sol neafectat de săpătură, 4-conducta îngropată, 5-umplutură granulară compactată, 6-umplutură necompactată

Concluzia acestui studiu este aceea că, în cazul conductelor îngropate, eforturile din cauze exterioare asupra pereților sunt puternic influențate de modul de compactare a umpluturii și de coeziunea materialului folosit.

5.4. Concluzii

În acest capitol s-a urmărit răspunsul la întrebarea dacă metodele existente pot sau nu modela satisfăcător situația din teren. Odată cu creșterea puterii computaționale și generalizarea accesului la această putere de calcul, apare posibilitatea de a folosi modele care să includă o cât mai amănunțită descriere a caracteristicilor din teren.

Din cele ce au fost arătate pe parcursul acestui capitol se poate trage concluzia că tensiunile din pereții conductelor pot fi influențate de factori precum:

- prezența cordoanelor de sudură susceptibile la imperfecțiuni de execuție;
- prezența orificiilor (tehnologice sau de altă natură);
- prezența voalărilor ce depășesc toleranțele admise;
- prezența adânciturilor/cavităților sau a zonelor de coroziune locală;
- adâncimea de îngropare, gradul de compactare și coeziune a umpluturii, prezența corpurilor străine în umplutură, alte situații speciale.

Prin urmare, este necesar și posibil ca tensiunile rezultate din calculele de rezistență structurală să fie ajustate, acolo unde este cazul, prin factorii de concentrare a tensiunilor, pentru a reflecta cât mai fidel situația din teren.

În capitolul urmator vor fi detaliate metode originale ce folosesc metode matematice liniare și neliniare pentru evaluarea diverselor soluții de reabilitare structurală ce pe bază de materiale cimentose (atât beton armat obișnuit, cât și materiale de tipul HPFRCC). Aceste metode vor fi exploatate apoi în aplicații numerice (studii de caz) pentru a putea răspunde întrebărilor curente ce apar și al căror răspuns facilitează procesul decizional.