

**ВЛИЯНИЕ НА МЕХАНИЧНИТЕ СВОЙСТВА НА ТРЪБОПРОВОД
ПОД НАЛЯГАНЕ ВЪРХУ КРИТИЧНИЯ РАЗМЕР НА НАЛИЧЕН
ДЕФЕКТ В СТЕНАТА МУ**

Татяна Авджиева
tavdjieva@phys.uni-sofia.bg

**Софийски университет „Климент Охридски”
София, Джеймс Баучер 5
БЪЛГАРИЯ**

***Ключови думи:** тръбопровод, дефект, критичен размер на дефект, пукнатиноустойчивост*

Резюме

Обект на настоящата разработка е изследването на размерите на съществуващи в стената на тръбопровод под налягане устойчиви пукнатини, които не се развиват при дадени условия на експлоатация, което би гарантирало последващата експлоатация на тръбопровода. При наличие на теч през прорязващата сечението пукнатина и създадена обратна връзка, чрез която да се прекрати работата на конструкцията при установяване на теч, се предприемат мерки да се предотврати пълното разрушаване на тръбопровода, работещ под налягане. Това е особено важно при скъпо струващи съоръжения, каквито са тръбопроводите в АЕЦ или газопроводите.

Въведение

В съдовете, работещи под налягане, нередко се зараждат пукнатини на различни места в стената на съда - на повърхността или под повърхността. По своето следващо поведение пукнатините биват не развиващи се, непрекъснато устойчиво развиващи се и критични. Много често разрушаването протича от развитието на втория вид пукнатини - които се развиват постепенно през цялото сечение на стената на съда под действие на циклични напрежения, като разрушаването се съпровожда от изтичане на съдържанието на съда. Когато пукнатината достига размер, след който развитието и` става неконтролируемо, бързо и самопроизволно, се нарича критична. Наличието на критична пукнатина е особено опасно, защото довежда до окончателно разрушаване на конструкцията по време на нейната експлоатация. Определянето на критичния размер на зародени пукнатини е особено важно за тръбопроводите на атомните електроцентрали, които се експлоатират в жилаво или квазистатично състояние

[1]. При тези тръбопроводи, поради наличието на огромно количество пара в тях, запасената енергия на флуида е достатъчно голяма и при изтичането му налягането бързо пада и разрушаването може да се прекрати. На този принцип се базира критерият на Ирвин [2] за оценяване на конструкцията в условията на развитие на пукнатина съпроводено с изтичане на съдържанието на тръбопровода.

Обект на настоящото изследване е анализирането на якостта на повредената тръба чрез моделиране на процеса на натоварване, което би позволило да се получава информация за степента на близост на дадено състояние на тръбопровода с пукнатина в стената му до критичното.

Методика на работа

Използваната методика В 31G ASME се базира на критериите на механиката на разрушаване и на натурни изследвания [3]. За целите на анализа тримерен дефект с дълбочина a , възникнал в стената на тръба, се заменя с пукнатина с аналогични размери L_m по оста (фиг. 1) на тръбопровода. Съгласно тази методика номиналното разрушаващо напрежение σ_c на тръбата с пукнатина в нея се намира по формула 1:

$$(1) \quad \sigma_c = \sigma_f \frac{A_0 - A}{A_0 - \frac{A}{M}},$$

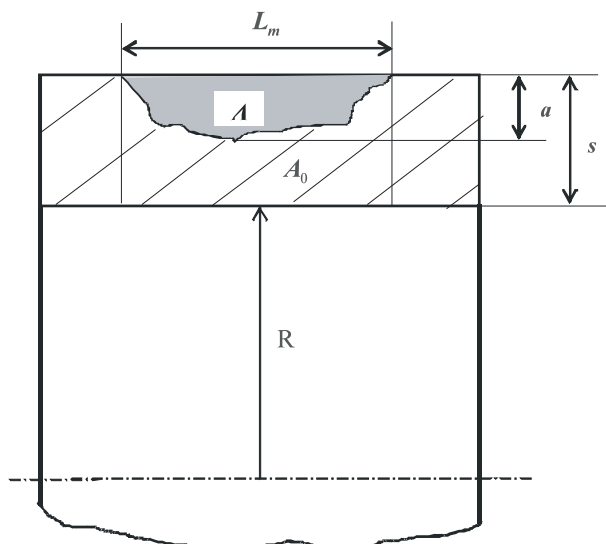
където:

- D – вътрешен диаметър на тръбопровода,
- S – дебелина на стената на тръбопровода,
- A_0 - площ на пукнатината - $A_0 = L_m S$,
- A - площ, съответстваща на повърхността на пукнатината. При параболичен дефект площта е равна на:

$$A = \frac{2L_m a}{3}$$

- L_m - дължина на пукнатината по продължението на оста на тръбата,
- $\sigma_f = 1,1 R_{0,2}$ - напрежение, отчитащо механичните свойства на материала на тръбата ($R_{0,2}$ - условна граница на провлачане на материала),
- M е корекция на Фолиас, чрез която се преминава от преизчисляване на якостта на пластина към якостта на цилиндричен образец (формула 2).

$$(2) \quad M = \sqrt{1 + \left(\frac{0,893L_m}{\sqrt{Ds}} \right)^2},$$



Фиг. 1. Осеве сечение на тримерен дефект с максимална дълбочина a , намиращ се в стената на тръбопровод с дебелина s

Критичната дължина на осевия дефект се намира по формула 3:

$$(3) \quad L_{mc} = 1,12 B_c \sqrt{Ds}$$

За да бъде пукнатината от неразвиващ се тип, т.е. да е безопасна работата на съоръжението под налягане, трябва стойността на параметъра $B_c \leq 4$.

Критичният параметър B_c се намира по формула 4:

$$(4) \quad B_c = \left[\left(\frac{\frac{a}{s}}{1,1 \frac{a}{s} - 0,15} \right)^2 - 1 \right]^{\frac{1}{2}},$$

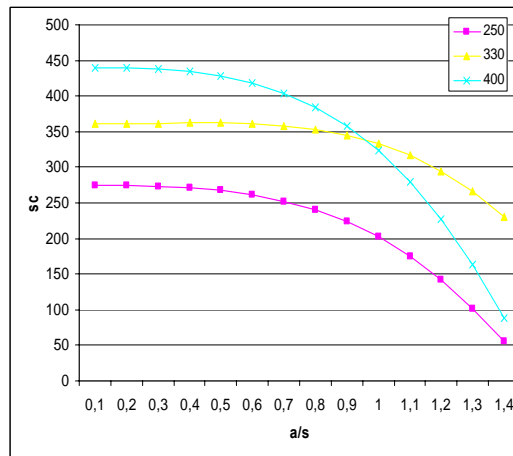
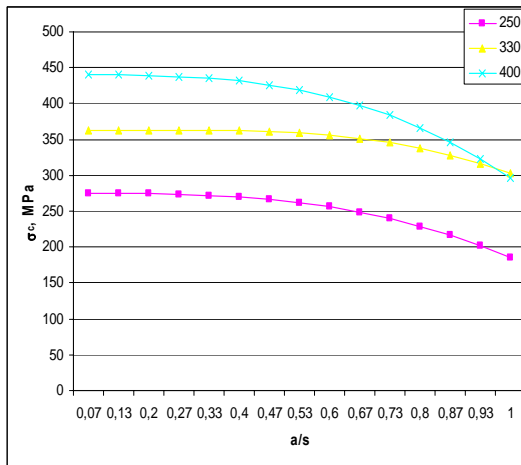
Експериментални резултати

Анализите са направени за тръбопровод с вътрешен диаметър 65 милиметра от често използвани стомани за тръбопроводи, работещи под налягане:

- 16К ($R_{0,2} = 250$ МПа),
- 16ГС ($R_{0,2} = 330$ МПа и
- 15Х2МФА ($R_{0,2} = 400$ МПа).

По този начин се изследва влиянието на механичните свойства върху пукнатиноустойчивостта на материала. Разгледани са 2 възможни дебелини на стената на тръбата – 10 и 15 милиметра.

Номиналното разрушаващо напрежение σ_c на тръбата с пукнатина в нея е изчислено по формула 1. От фиг. 2 може да се установи, че с увеличаване на стойността на отношението a/s разрушаващото напрежение намалява плавно до достигане на $a/s = 0,8$, след което значително без значение каква е дебелината на стената на тръбата. До $a/s < 0,13$ разрушаващото номинално напрежение е равно на номиналното напрежение на флуида в тръбопровода.

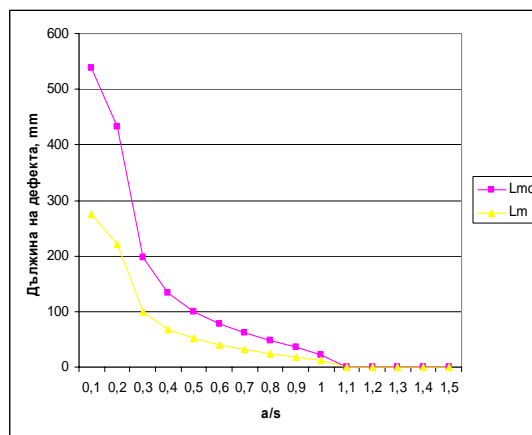
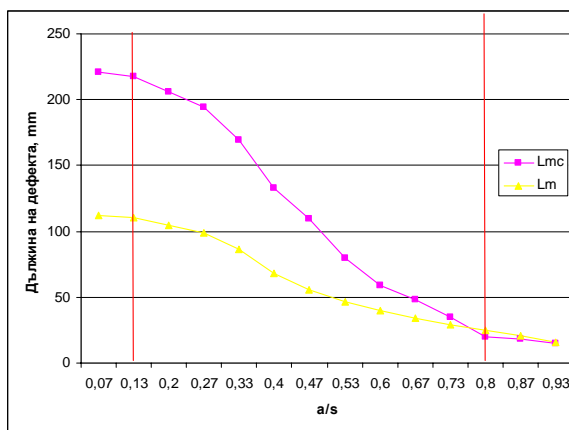


а/

б/

Фиг. 2. Зависимост на стойността на номиналното разрушаващо напрежение σ_c от дебелината на дефекта за стомани с граница на провлачане 250, 330 и 400 МПа с дебелина на стената а/ 15 и б/ 10 mm

Анализът на зависимостта на разрушаващите напрежения от размерите на дефекта показва, че при наличие на дълбок дефект (по-голям от 8 при дебелина на стената 10 и по-голям от 12 при дебелина 15 mm) стойността им намалява с 82 %.

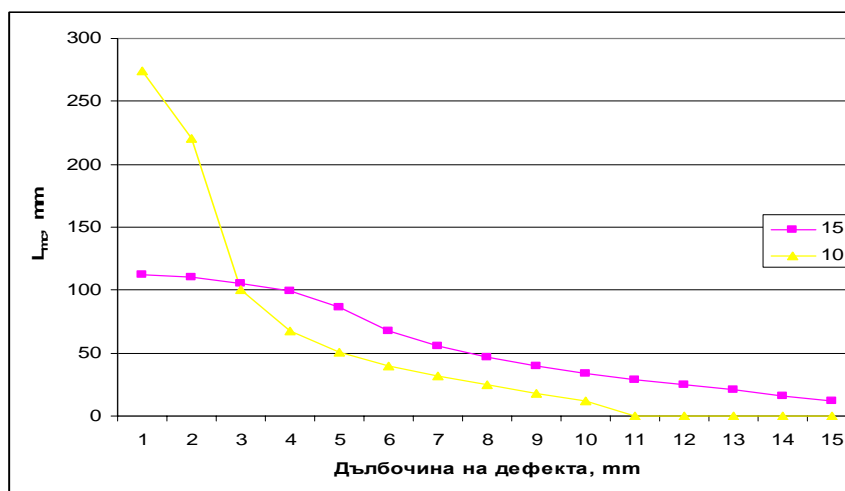


а/

б/

Фиг. 3. Зависимост на стойността на дължината на дефекта от дебелината му за тръбопровод с дебелина на стената а/ 15 и б/ 10 mm

Очевидно е (фиг. 3), че при тръбопровод с дебелина на стената 10 mm наличието на дефект с дебелина по-голяма от 1 mm довежда до стойност на отношението $a/s > 0,1$. От фиг. 2, б се вижда, че стойностите на L_m достигат почти 300 mm, по-високи дори от критичната стойност L_{mc} при същия размер на дефекта за тръбопровод с дебелина на стената 15 mm. Може да се каже, че тръбопроводът е негоден за експлоатация при дефект с размер по-голям от 1 mm. За тръбопровод с дебелина на стената 15 mm намаляването на критичната дължина на дефекта започва при отношение $a/s > 0,13$, но $L_m \ll L_{mc}$ и тръбопроводът може да се експлоатира, защото до стойност $a/s < 0,8$ дефектът се развива устойчиво. Над $0,8 L_m > L_{mc}$ и дефектът има надкритични стойности, т. е. Се развива неконтролируемо.



Фиг.4. Критична дължина на дефекта в зависимост от дълбочината на дефекта за тръбопровод с дебелина на стената 10 и 15 mm

От фигура 4 може да се установи, че за тръбопровод с определен вътрешен диаметър от съществено значение за критичната дължина на дефект в стената му е дебелината на стената. По-голямата дебелина на стената придава по-голяма пукнатинуустойчивост на тръбопровода.

Изводи:

Разработването на методи за изчисляване на граничното състояние на тръбопроводи с 3D дефекти в тях са необходими за определяне на якостните характеристики както в еластично, така и в еластично-пластично състояние на стадия на експлоатация, така че получаваните резултати да не противоречат на проектните расчети.

Стоманата с 2 пъти по-малка граница на провлачане показва почти 1,5 по-малка якост при отношение на дълбочината на дефекта към дебелината на стената на тръбата $a/s > 0,8$, т. е. при наличие в стената на тръбата на дълбоки дефекти.

Изследванията дават основание да се предположи, че ако е спазено условието $a/s < 0,1$, се счита, че тръбопроводът може да се експлоатира независимо от наличието на пукнатина. Ако отношението a/s е по-голямо или равно на 0,8, то тръбопроводът е подложен на действието на разрушаващо напрежение с ниска стойност, което предполага безконтролно разрушаване и тръбопроводът би бил непригоден, независимо от останалите размери на дефекта. Тези данни отговарят на теоретично получени резултати за тръбопровод от АЕЦ с дебелина на стената 5 mm и диаметър на тръбата 100 mm по метод на реалните елементи [3].

Литература

- [1] Георгиев Мл., Пукнатинуустойчивост на металите при статично натоварване, Булвест 2000, София, 2005
- [2] Irwin, G., Fracture mechanics, Proc. Of the Ist Symposium on naval structural mechanics, London, Pergamon, 1960
- [3] Ван Хайжун, Прочность трубопроводов АЭС, ослобленных трехмерными дефектами стенки, Диссертация, Московский инженерно-физический институт, Москва, 2005