



Mechanics of Machines

Механика на Машините

126

ИЗСЛЕДВАНЕ НА МЕХАНИЧНИТЕ НАПРЕЖЕНИЯ ПРИ ПЕРФОРИРАНИ ПЛАСТИНИ, ПОДЛОЖЕНИ НА СЛОЖНО НАТОВАРВАНЕ

Иванка ДЕЛОВА

prosto_vanq@abv.bg

Райчо РАЙЧЕВ

rprachev@tu-plovdiv.bg

катедра „Механика“, ТУ София - филиал Пловдив, 4000, БЪЛГАРИЯ

Обект на настоящата статия е софтуерно изследване на механичните напрежения, които възникват при перфорирани пластини, подложени на сложно натоварване.

Изследването е осъществено за пластини със специфична форма и размери на централния отвор. С помощта на модула optISLang към софтуера ANSYS е реализирана оптимизация, при която е определено положението на отворите при които механичните напрежения са минимални. Получените резултати са представени в табличен и графичен вид.

Ключови думи: напрежения, перфорирани

1. Увод

Основната задача в настоящата статия е софтуерното изследване на механичните напрежения, които възникват в застрашените зони при перфорирани пластини. Изследването е осъществено за някои характерни случаи, при които централния отвор на пластината има специфична форма и размери.

Голяма част от специализираната литература е посветена на проблемите, свързани с концентрацията на напрежения при перфорирани пластини.

В [S. Nagpal et al. 2012] е направен обзор на съществуващите методи за намаляване на концентрацията на напрежения при правоъгълни пластини с наличие на кръгли и елиптични отвори. Авторите описват и сравняват всеки един от характерните методи за определяне на концентрацията на напрежение, като направените анализи са представени в графичен и табличен вид. Анализите показват, че няма общ подход към намаляване на коефициента на концентрация на напрежение, а всеки характерен метод е приложим в зависимост от конкретните образци, условия на изпитване и концентратори на напрежение.

В [M. Aryarad et al. 2015] е описано определянето на коефициента на концентрация на напрежение при перфорирани пластини, подложени на опън. Изследването е осъществено с помощта на специализирания

пластини, ANSYS, сложно натоварване софтуер Abaqus, който е базиран на метода на крайните елементи.

Направена е оценка на получените резултати, като е осъществено сравнение между коефициента на концентрация получен експериментално и чрез емпирични зависимости. Представени са решения за намаляване на концентрацията на напрежение и за оптимизиране на изследваните пластини.

В [S. Nagpal et al. 2013] са представени изследвания на изотропни и ортотропни перфорирани пластини, подложени на двусево натоварване. Изследвани са две разновидности на перфорираните пластини: с наличие само на централен отвор и с наличие на два допълнителни симетрични отвора. Изследванията са осъществени с помощта на специализирания софтуер ANSYS, при различни съотношения на геометричните размери. Анализа на резултатите показва значително намаляване на напреженията при пластините с допълнителни отвори.

В статията [A. Wankar et al. 2016] се осъществява експериментално изследване на перфорирана стоманена пластина с помощта на специализирано тестово оборудване. Пластината е подложена на осево натоварване, като за отчитане на деформациите са използвани фолиеви тензодатчици. За намаляване на напреженията в застрашените зони, на

определен разстояние от централния отвор са разположени симетрично още два отвора със специфична форма и размери. Резултатите от експеримента показват, че наличието на допълнителни отвори намалява концентрацията на напрежение с 32,35%.

В [S. Sayyad et al. 2017] е осъществено изследване на правоъгълна пластина с наличие на централен отвор с квадратна и триъгълна форма. Основната цел е да се определи влиянието, което оказват различните параметри на специфичните отвори, като посока на натоварване и ориентацията на отворите, върху разпределението на напрежението и коефициента на концентрация на напрежение (SCF) в перфорираните пластини. Изследването е осъществено чрез специализирания софтуер ANSYS. Представените резултати, показват, че коефициентът на концентрация на напрежение може да бъде значително променен чрез използване на подходяща форма и ориентация на централния отвор.

В [R. Sahu. 2017] е описано изследване на перфорирана стоманена плоча с квадратна форма. Изследването е проведено при различни форми на отвора - квадрат, правоъгълник, триъгълник, кръг. Плочата е подложена на осево натоварване, като стойностите на напрежението в застрашените участъци е установено чрез софтуерен статичен анализ. След получаване на номиналното нормално напрежение, е изчислена стойността на коефициента на концентрация на напрежение (K) за всеки отвор, като получените резултати са сравнени помежду си. Основната цел на изследването е да се установи най-добра форма с която ще се намали концентрацията на напрежение. Анализът на резултатите подчертава предимството на цилиндричния отвор пред останалите.

В [L. Zhuang et al. 2015] се определят коефициентите на концентрация на напрежение (SCF) при изотропни площи с различни отвори. Обсъдени са влиянието на геометричните и материалните параметри на отвора върху SCF. Геометричната форма на отворите включва кръг, правоъгълник, елипса, ромб и комбиниран участък. Промените в свойствата на материалите също са обект на дискусия, като е разгледан случая при добавяне на материал с висок еластичен модул към отвора. Резултатите показват, че изотропните площи, подсилены с материал с висок еластичен модул, са ефективни при концентрация на напрежение, а отворът с гладка форма е най-подходящ за намаляване на напрежението.

В статия [M. Konieczny et al. 2018] е описано изследване на концентрацията на напрежение,

която възниква при перфорирани стоманени площи, подложени на двуосово натоварване. Изследвани са случаите, когато отвора на плочата има елиптична и плоска форма и когато съответният отвор е разположен под ъгъл 45° спрямо осите на натоварване.

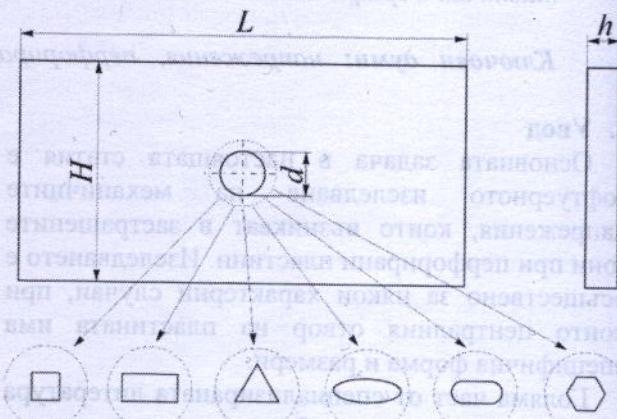
Изследвани са различни комбинации от натоварванията спрямо осите у и z, като това е осъществено софтуерно, с помощта на софтуера Femap, базиран на метода на крайните елементи.

Получените резултати са представени в табличен и графичен вид.

2. Описание на изследваните образци

Обект на настоящото изследване е перфорирана правоъгълна пластина със специфична форма и размери на централния отвор. Пластината е подложена едновременно на опън и огъване.

На фиг. 1 в схематичен вид е представена перфорираната пластина, както и нейните различни централни отвора.



Фиг. 1 Схеми на перфорираната плоча и геометричните форми на отворите.

Геометричните размери на плочата при които са осъществени симулациите, са следните: $L \times H \times h = 100 \times 50 \times 10\text{mm}$. В таблица 1 и таблица 2 са представени резултати от статичен анализ на плочата при различни диаметри на централния отвор.

Таблица 1

Определяне на коефициента на концентрация на напрежение при перфорирана пластина, подложена на опън						
Диаметър на отвора <i>d, mm</i>	Сила <i>P, N</i>	σ _{ном} MPa	σ _{max} MPa	K _{ig} - симулация	K _{ig} - теоретично	Отклонение %
5			297.130	2.971	3.035	2.112
10			315.120	3.151	3.149	0.076
15	50000	100	340.600	3.406	3.368	1.130
20			378.690	3.787	3.733	1.457
25			438.490	4.385	4.314	1.643

Таблица 2

Определяне на коефициента на концентрация на напрежение при перфорирана пластина, положена на огъване						
Диаметър на отвора	Огъващ момент	Силом	σ_{max}	Ktg - симулация	Ktg - теоретично	Отклонение %
d, mm 5 10 15 20 25	M, Nm 100	120	280.000	2.333	2.485	6.107
			264.810	2.207	2.383	7.409
			268.460	2.237	2.383	6.104
			286.540	2.388	2.438	2.049
			318.190	2.652	2.529	4.833

За определяне на теоретичните коефициенти Ktg при опън и огъване, са използвани следните аналитични зависимости [W. Pilkey et al. 2020]:

- За определяне на Ktg при опън:

$$Ktg = 0.284 + \frac{2}{1-d/H} - 0.6 \left(1 - \frac{d}{H}\right) + 1.32 \left(1 - \frac{d}{H}\right)^2; \quad (1)$$

- За определяне на Ktg при огъване:

$$Ktg = C_1 + C_2 \left(\frac{d}{H}\right) + C_3 \left(\frac{d}{H}\right)^2; \quad (2)$$

където коефициентите C_1 , C_2 , C_3 и C_4 , са определени съгласно зависимостите:

$$C_1 = 3.0356 - 0.8978 \sqrt{\frac{d}{H}} + 0.1386 \left(\frac{d}{H}\right);$$

$$C_2 = -0.708 + 0.7921 \sqrt{\frac{d}{H}} - 0.154 \left(\frac{d}{H}\right); \quad (3)$$

$$C_3 = 6.0319 - 3.7434 \sqrt{\frac{d}{H}} + 0.7341 \left(\frac{d}{H}\right).$$

Анализът е осъществен със специализираният софтуер ANSYS, базиран на метода на крайните елементи. От получените резултати се вижда, че има добро съвпадение между резултатите получени от симулацията и тези, получени чрез аналитичните зависимости, описани в [W. Pilkey et al. 2020]. Това потвърждава адекватността на реализираното начално софтуерно изследване и дава основание да бъдат осъществени симулациите на плочата при сложно натоварване и за различни видове централни отвори.

3. Резултати от осъществените симулации.

От таблица 3 до таблица 9 са представени резултатите от симулациите при сложното натоварване на перфорираната плоча за различните отвори.

Таблица 3

Механични напрежения при плоча с цилиндричен отвор					
L	Диаметър на отвора	Сила	Огъващ момент	σ_{max}	
H	d, mm 8 10 12 14 16	5000	10	53.99	
	54.497				
	56.018				
	57.775				
	58.44				

Таблица 4

Механични напрежения при плоча с квадратен отвор				
L	Дължина на страната	Сила	Огъващ момент	σ_{max}
H	a, mm 8 10 12 14 16	5000	10	112.4
	120.71			
	128.75			
	136.5			
	148.85			

Таблица 5

Механични напрежения при плоча с правоъгълен отвор				
L	Дължина на страните ab, mm	Сила	Огъващ момент	σ_{max}
H	a, mm 4x8 5x10 6x12 7x14 8x16	5000	10	86.899
	92.675			
	97.026			
	104.36			
	108.37			

Таблица 6

Механични напрежения при плоча с елипсовиден отвор				
L	Геометрични размери	Сила	Огъващ момент	σ_{max}
H	a,b, mm 4x8 5x10 6x12 7x14 8x16	5000	10	38.08
	38.158			
	38.434			
	38.959			
	39.286			

Таблица 7

Механични напрежения при плоча с ovalен отвор				
L	Геометрични размери	Сила	Огъващ момент	σ_{max}
H	a,b, mm 4x8 5x10 6x12 7x14 8x16	5000	10	46.054
	43.862			
	45.837			
	45.194			
	46.001			

Таблица 8

Механични напрежения при плоча с триъгълен отвор				
L	Дължина на страната	Сила	Огъващ момент	σ_{max}
H	a, mm 8 10 12 14 16	5000	10	186.03
	207.28			
	221.47			
	236.03			
	255.09			

Таблица 9

Механични напрежения при плоча с шестостенен отвор				
L	Дължина на страната	Сила	Огъващ момент	σ_{max}
H	a, mm 8 10 12 14 16	5000	10	134.57
	92.35			
	128.89			
	113.49			
	126.5			

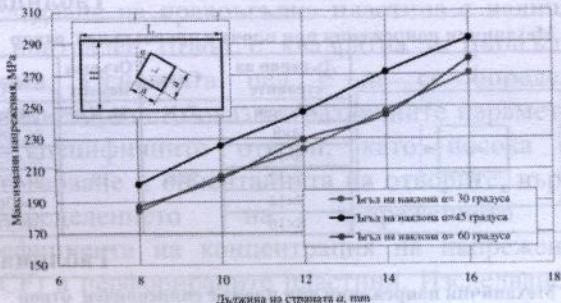
Резултатите от симулациите показват, че при сложно натоварване най-ниските еквивалентни напрежения се получават при обтекаемите форми на отвора. Тук предимството е за отвора с елипсовидна форма при който получените еквивалентни напрежения са по-ниски с повече от 17% спрямо ovalния отвор и повече от 29% спрямо цилиндричния отвор.

На фигури от 2 до 5 са визуализирани резултатите от симулациите при различни наклони на отворите спрямо вертикалната ос. С

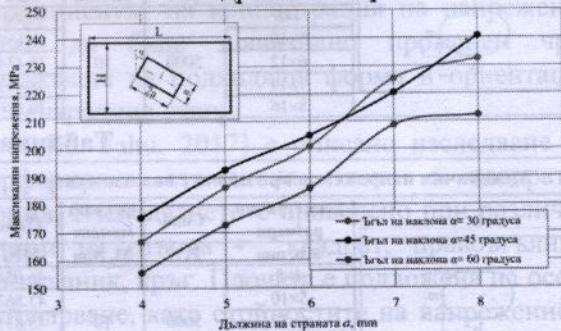
Таблица 3

Таблица 4

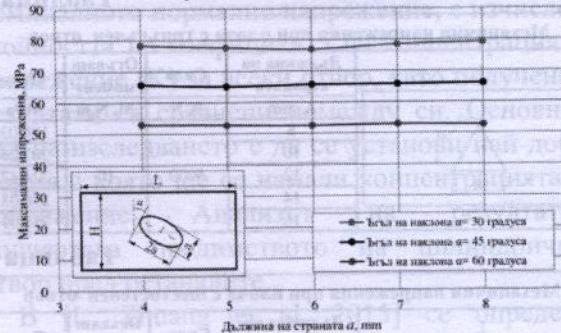
помощта на модула optiSLang към софтуера ANSYS е осъществена оптимизация, чрез която са определени линейните размери и ъгъла на наклона на отворите, при които еквивалентните напрежения имат най-ниски стойности.



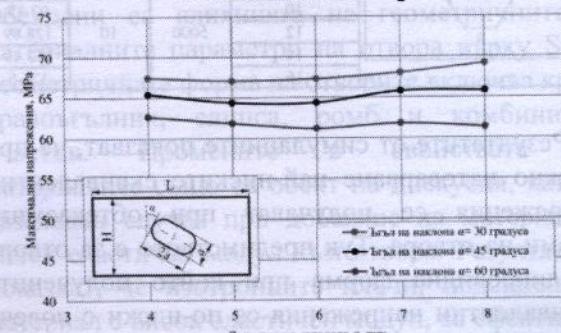
Фиг. 2 Механични напрежения при наклонен квадратен отвор.



Фиг. 3 Механични напрежения при наклонен правоъгълен отвор.



Фиг. 4 Механични напрежения при наклонен елипсовиден отвор.



Фиг. 5 Механични напрежения при наклонен овален отвор.

В таблица 10 са представени резултатите от оптимизацията при наклонените отвори.

Таблица 10

Механични напрежения при плоча с наклонен отвор, след оптимизация			
Вид на отвора	Дължина на страната a , mm	Ъгъл на наклона	σ_{max} MPa
квадрат	8.04 x 8.04	49.95	152.765
правоъгълник	4.62 x 8.36	56.25	142.200
елипса	2.89 x 4.46	59.25	52.111
овал	7.66 x 8.2	49.65	55.311

Резултатите от симулацията показват, че с помощта на софтуерната оптимизация, максималните стойности на получените еквивалентни напрежения могат да бъдат понижени. Най-съществено е намаляването на напреженията при наклонения квадратен отвор (над 18%), а най-незначително (под 1%) е намаляване на напреженията при елипсовидния наклонен отвор.

4. Заключение.

Предмет на настоящата статия е прилагането на софтуерни методи за определяне на механично напрежение при перфорирани правоъгълни пластини, подложени на сложно натоварване. Получените резултати показват, че наличието на централни отвори с определена форма, геометрични параметри и разположение, оказват съществено влияние върху еквивалентните стойности на механичните напрежения.

ЛИТЕРАТУРА

- A. Wankar, H. Mishra, "Design & Analysis of Rectangular Plate for Stress Relief", International Engineering Research Journal Page No 490-495, 2016.
- L. Zhuang, B. Su, M. Lin, Y. Liao, Y. Peng, Y. Zhou, D. Luo, "Influence of the Property of Hole on Stress Concentration Factor for Isotropic Plates", 10th International Conference on Composite Science and Technology, IDMEC 2015.
- M. Aryarad, M. Heshmati, "Evaluation and analysis of the stress concentration factor reduction techniques on perforated plates using finite element method", Cumhuriyet University Faculty of Science, Science Journal (CSJ), Vol. 36, No: 4 Special Issue (2015).
- M. Konieczny, G. Gasiak, "State of stress in the plate with slot at biaxial load", AIP Conference Proceedings 2028, 020004 (2018); doi.org/10.1063/1.5066394.
- R. Sahu, "Effect of Stress Concentration on Various Shaped Hole Having Similar Cross Section Area", International Journal of Advance Research in Science and Engineering, Volume 6, September 2017.
- S. Nagpal, N. Jain, S. Sanyal, "Stress Concentration and its Mitigation Techniques in Flat Plate with Singularities—A Critical Review", ENGINEERING JOURNAL Volume 16 Issue 1, 2012.
- S. Nagpal, S. Sanyal, N. Jain, "Analysis of mitigation of stress concentration factor of a rectangular isotropic and orthotropic plate with central circular hole subjected to in-plane static loading by design optimization", International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 2013.

S. Sayyad, J. Shitole, "Exploration of the stress concentration in metallic plates with extraordinary cutout and bluntness", International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science, Vol. No.5, Issue No. 05, May 2017.

W. Pilkey, D.Pilkey "Peterson's Stress Concentration Factors", John Wiley & Sons, Inc. 2020.