

**ИЗПОЛЗВАНЕ НА ТОПОЛОГИЧНА ОПТИМИЗАЦИЯ ЗА
НАМАЛЯВАНЕ КОНЦЕНТРАЦИЯТА НА НАПРЕЖЕНИЯ ПРИ
ПЕРФОРИРАНИ ПЛАСТИНИ**

Иванка Делова, Райчо Райчев

Технически университет - София, филиал Пловдив

**USE OF TOPOLOGICAL OPTIMIZATION TO REDUCE STRESS
CONCENTRATION IN PERFORATED PLATES**

Ivanka Delova, Raycho Raychev

Technical University of Sofia, Branch Plovdiv

Abstract: The subject of this article is the reduction of the stress concentration factor in perforated plates, with the help of specialized software. The specimens were subjected to tension, and with the help of the ANSYS software topological optimization was performed in order to reduce the stresses in the endangered areas. The obtained results are presented in graphical form.

Key words: stress concentration factor, topological optimization, specimens, reduction of stress concentration.

Въведение

Основна цел в настоящото изследване е с помощта на специализиран софтуер да се понижи концентрацията на напрежения в застрашените зони при перфорирани пластини, подложени на опън. Голяма част от специализираната литература в областта е посветена на проблемите, свързани с понижаването на концентрацията на напрежения.

В (Aryarad M. et al., 2015) са представени решения за намаляване концентрацията на напрежения и за оптимизиране на перфорирани пластини, подложени на опън. Като основни подходи за намаляване на напреженията, авторите посочват промяна на материала на пластината, промяна на геометричните размери и дизайн на отворите, както и добавянето на допълнителен слой материал около отвора на пластините.

В (Nagpal S. et al., 2013) са представени изследвания на изотропни и ортотропни перфорирани пластини, подложени на двуосево 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. Анализ на резултатите показва значително намаляване на напреженията при пластините с допълнителни отвори.

В (Wankar A. et al., 2016) е осъществено 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 определено

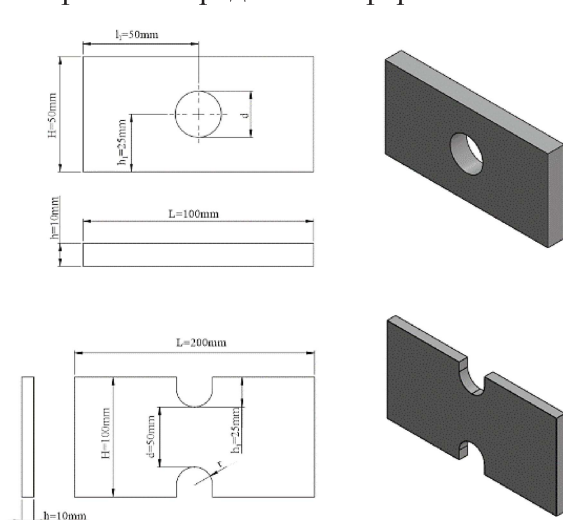
разстояние от централния отвор са разположени симетрично още два отвора със специфична форма и размери. Резултатите от експеримента показват, че наличието на допълнителни отвори намалява концентрацията на напрежение с 32,35%.

В (Karimi S. et al., 2018) за намаляването на концентрацията на напрежение в пластина с отвор е въведен нов подход, наречен Reliever Topological Material Elimination (RTME). Този подход е свързан с използване на топологична оптимизация, за да се определят най-добрите области за отстраняване на материала, за да прецизира потока от напрежение и следователно да намали фактора на концентрация на напрежение (SCF). С помощта на топологичната оптимизация са определени три основни области за елиминиране на материал. Според крайните резултати подходът RTME дава до 35,5% намаляване на концентрацията на напрежения при намаляване с около 28% от първоначалната маса на пластината.

Описание на изследването

Обекти на изследването в настоящата статия са перфорирана пластина с централен отвор и пластина с наличие на симетрично разположени U-образни надрези. Детайлите са подложени на осево натоварване.

На фиг. 1 са представени формата и геометричните размери на изследваните образци.



фиг. 1 Форма и размери на изследваните образци.

заstraшените зони.

Резултати от изследването

Статичният анализ и при двата детайла е осъществен с прилагане на осева сила $P=10\text{kN}$. При перфорираната плоча са направени симулации при диаметри на отвора съответно $d=5; 10; 15$ и 20mm . При пластината с наличие на симетрично разположени U-образни надрези, симулациите са осъществени при следните радиуси: $r=5; 7,5; 10; 12,5$ и 15mm .

Коефициентите на концентрация на напрежения при изследваните образци, са определени от зависимости, известни от специализираната литература (Pilkey W., et al. 2020):

За перфорираната пластина:

$$K_{tg} = 0,284 + \frac{2}{1-d/H} - 0,6(1-d/H) + 1,32(1-d/H)^2;$$

където: d/H -сътношение на геометричните размери при пластината.

За пластина със симетрично разположени U-образни надрези:

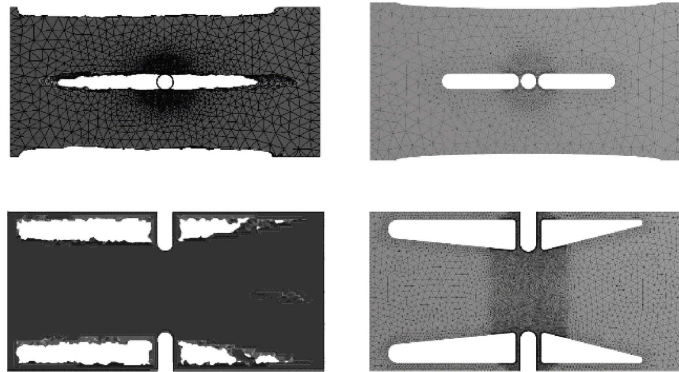
За намаляване концентрацията на напрежения в заstraшените зони на изследваните пластини е използвана топологична оптимизация, чрез специализирания софтуер ANSYS.

Установяването на размерите и местоположението на отнетия от образците материал е осъществено чрез модула Design Study на софтуера SolidWorks. В последствие е извършен нов статичен анализ в платформата ANSYS Workbench за да се установят стойностите на получените след топологичната оптимизация напрежения в

$$K_m = C_1 + C_2 \left(\frac{2t}{H} \right) + C_3 \left(\frac{2t}{H} \right)^2 + C_4 \left(\frac{2t}{H} \right)^3;$$

където: коефициентите C_1 , C_2 , C_3 и C_4 се определят съгласно формули, описани в (Pilkey W., et al. 2020). За настоящата симулация $t=25\text{mm}$.

Топологичната оптимизация и при двете пластини е осъществена за три характерни случая: при намаляване масата на образците съответно с 10%, 20% и 30%. На фиг. 2 е представена визуализация на софтуерната оптимизация, както и моделите на пластините. В таблица 1 са представени стойностите на коефициента K_{tg} получен теоретично и чрез симулациите с ANSYS Workbench, преди и след оптимизацията на перфорираната пластина.

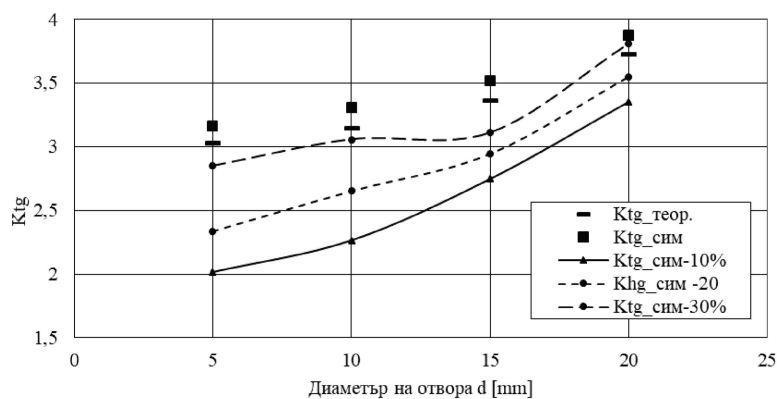


фиг. 2 Визуализация на топологичната оптимизация и моделите на пластините.

Таблица 1. Стойности на коефициента K_{tg} при перфорирана пластина.

Стойности на коефициента K_{tg} при централно разположение на отвора										
d / H	σ_{nom}	σ_{max}	$\sigma_{max(topology\ 10\%)}$	$\sigma_{max(topology\ 20\%)}$	$\sigma_{max(topology\ 30\%)}$	$K_{tg_сим(10\%)}$	$K_{tg_сим(20\%)}$	$K_{tg_сим(30\%)}$	$K_{tg_сим}$	$K_{tg_теор.}$
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	-	-	-	-	-
0,1	20	63,305	40,303	46,766	56,954	2,015	2,338	2,848	3,165	3,035
0,2	20	66,185	45,289	53,066	61,133	2,264	2,653	3,057	3,309	3,149
0,3	20	70,368	54,91	58,877	62,177	2,746	2,944	3,109	3,518	3,368
0,4	20	77,546	67,023	70,969	76,138	3,351	3,548	3,807	3,877	3,733

На фиг. 3 е представена графичната зависимост на получените коефициенти K_{tg} във функция от диаметъра на отвора d .



фиг. 3 Графична зависимост между коефициентите K_{tg} и диаметъра d .

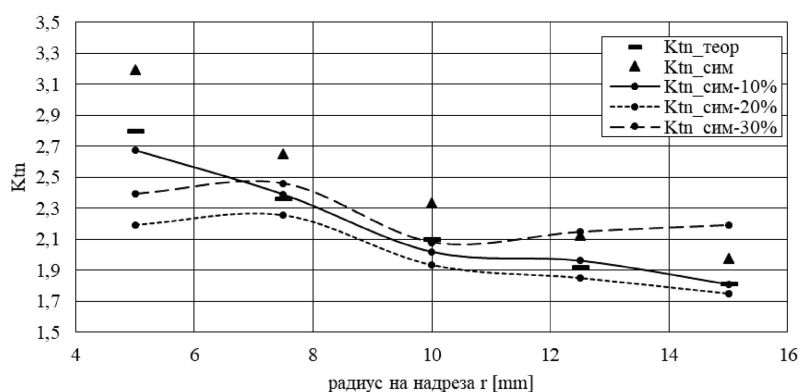
Получените резултати от симулацията показват, че в резултат на топологичната оптимизация, коефициента на концентрация на напрежения намалява значително (36,33% при $d=5\text{mm}$ и намаляване масата на образца с 10%).

В таблица 2 са представени резултатите за коефициента K_{tn} при пластина със симетрично разположени U-образни надрези.

Таблица2. Стойности на коефициента K_{tn} при пластина с U-образни надрези.

r	σ_{nom}	σ_{max}	$\sigma_{max(topology\ 10\%)}$	$\sigma_{max(topology\ 20\%)}$	$\sigma_{max(topology\ 30\%)}$	$K_{tn_сим(10\%)}$	$K_{tn_сим(20\%)}$	$K_{tn_сим(30\%)}$	$K_{tn_сим}$	$K_{tn_теор.}$
mm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	-	-	-	-	-
5	20	63,813	53,455	43,865	47,853	2,673	2,193	2,393	3,191	2,795
7,5	20	53,01	47,758	45,093	49,196	2,388	2,255	2,460	2,651	2,357
10	20	46,712	40,381	38,708	41,622	2,019	1,935	2,081	2,336	2,096
12,5	20	42,513	39,248	37,047	42,962	1,962	1,852	2,148	2,126	1,918
15	20	39,485	36,19	35,034	43,833	1,810	1,752	2,192	1,974	1,810

На фиг. 4 е представена графичната зависимост на получените коефициенти K_{tn} във функция от радиуса на надреза.



фиг. 3 Графична зависимост между коефициентите K_{tn} и радиуса на надреза.

Получените резултати показват, че в резултат на топологичната оптимизация, със софтуера ANSYS, концентрацията на напрежение при пластини с U-образни надрези намалява значително (31,27% при $r=5\text{mm}$ и намаляване на масата с 10%).

Използвана литература

Aryarad M., Heshmati M., "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).

Karimi. S., Fesharaki J., "Using Topology Optimization to Reduce Stress Concentration Factor in a Plate with a Hole", Journal of Stress Analysis Vol. 3, No. 2, Autumn — Winter 2018-19.

Nagpal S., Sanyal S., Jain N., "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 Inovative Research in Science, Engineering and Technology, 2013.

Pilkey W., Pilkey D., Zhuming Bi, "Peterson's stress concentration factors", John Wiley & Sons, Inc. 2020.

Wankar A., Mishra H., Bayas J., "Experimental Investigation of Reduction in SCF of Rectangular plate with central circular hole by Providing Relief Holes", International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Volume: 03 Issue: 061 June-2016.