

Научни трудове на Съюза на учените в България – Пловдив. Серия В. Техника и технологии. Том XIX, ISSN: 1311-9419 (Print); ISSN 2534-9384 (Online), 2021. Scientific Works of the Union of Scientists in Bulgaria - Plovdiv. Series C. Technics and Technologies. Vol. XIX, ISSN 131 -9419 (Print); ISSN 2534-9384 (Online), 2021.

**НАМАЛЯВАНЕ КОНЦЕНТРАЦИЯТА НА НАПРЕЖЕНИЯ ПРИ
ПРИЗМАТИЧНИ И ЦИЛИНДРИЧНИ ПРОБНИ ОБРАЗЦИ С
ПОМОЩТА НА СПЕЦИАЛИЗИРАН СОФТУЕР**

Иванка Делова, Райчо Райчев

Технически университет - София, филиал Пловдив

**REDUCTION OF STRESS CONCENTRATION IN PRISMATIC AND
CYLINDRICAL SPECIMENS USING SPECIALIZED SOFTWARE**

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 prismatic and cylindrical specimens, with the help of specialized software. The specimens were subjected to tension, and geometric optimization with SolidWorks Simulation and ANSYS was performed to reduce the stresses in the endangered areas. A comparison was made between the results obtained before and after the optimization of the specimens.

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

Увод

Концентрациите на напрежения са един от основните проблеми, с които всеки един конструктор е необходимо да се съобразява. Повишаването на напреженията в локални зони от машинните детайли може да доведе до загуба на техните експлоатационни свойства или до тяхното разрушаване. Поради тази причина изграждането и оптимизирането на детайлите в машиностроенето е свързано с намаляването на концентрацията на напрежения и повишаване границата на умора. В специализираната литература са описани различни подходи, свързани с намаляване коефициента на концентрация на напрежения.

В (Klemensø T. et al., 2007) са представени резултатите от изпитване на опън при тънък, плосък образец, с включено оптимизиране на неговата форма. Изследваният образец е изработен от металокерамика. С помощта на анализа на крайните елементи са изследвани три дизайна на преходната зона при стандартния образец, като в графичен вид са представени резултатите за всяка промяна.

В (Francavilla A. et al., 1975) е представен нелинеен оптимизационен математически подход за намаляване на концентрацията на напрежения при образци с наличие на закръгления. Този подход е осъществен в комбинация с метода на крайните елементи. Изведените математически зависимости са приложени в два отделни примера, свързани с оптимизиране формата на закръгленията при стандартен пробен образец и при мотовилка. Резултатите от оптимизацията и при двата детайла са представени в табличен и графичен вид.

В (Gonzales-Mendoza J. et al., 2017) е описан подход за намаляване на концентрацията на напрежения при стъпаловиден вал, подложен на осево натоварване. Този подход е свързан с изработването на допълнителен надрез върху вала. Основната цел е намаляване стойностите на напреженията при стъпалото на вала и при допълнителния надрез. За осъществяване на поставената задача са използвани вградените оптимизационни функции в софтуера MATLAB. С помощта на специализирания софтуер ANSYS е осъществена симулация при различни съотношения на геометричните размери на вала.

В (Miegroet L. et al., 2007) е представен нов подход за оптимизиране на формата на изследваните образци. Този подход е базиран на методите за описване на формата (Level Set Method) и разширения метод на крайните елементи (X-FEM). По този начин се осъществява една компилация между оптимизацията на формата и топологията.

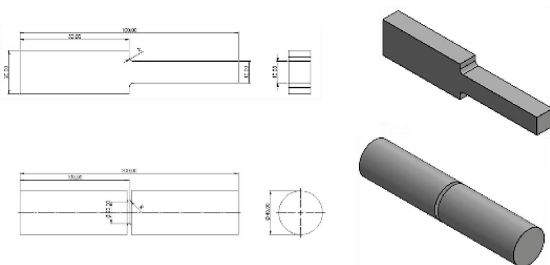
В (Taylor D. et al., 2011) са описани два нови подхода за намаляване на концентрацията на напрежения чрез получаване на закръгления с променлив радиус. Първият подход е наречен метод на локална кривина (LCM). Този метод се базира на резултати от анализ на напрежението при стъпаловидни пробни тела с постоянен радиус на закръгление, като се осъществява промяна на локалната кривина като функция на напрежението. Вторият подход включва използването на комерсиалния софтуер (mode Frontier) за извършване на систематично търсене на възможни конструктивни решения на закръгления с променлив радиус, използвайки множество модели на крайни елементи.

Целта на настоящата работа е с помощта на специализиран софтуер да се осъществи намаляване концентрацията на напрежения при стандартни пробни тела, подложени на осево натоварване.

Описание на изследването

Обекти на изследване в настоящата статия са призматичен образец с наличие на закръгление и цилиндричен образец с наличие на U-образен надрез. 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.

За намаляване концентрацията на напрежения при призматичния образец е приложен подход, който е известен като топологична оптимизация. При този подход на определени места от изследвания детайл се отнема част от неговия материал, като по този начин се намалява концентрацията на напрежение.

В настоящото изследване за осъществяване на топологичната оптимизация е използван специализирания софтуер ANSYS. Установяването на размерите и местоположението на отнетия от изследвания образец материал е осъществено чрез модула Design Study на специализирания софтуер SolidWorks. В последствие е извършен нов статичен анализ за да се определят стойностите на получените след топологичната оптимизация напрежения в застрашените зони.

За намаляване концентрацията на напрежения при цилиндричния образец са изработени допълнителни надрези в близост до зоната с концентрация на напрежения. Размерите и местоположението на допълнителните надрези са установени с модула Design Study. На базата на получените резултати е осъществен статичен анализ в платформата ANSYS Workbench.

Резултати от изследването

Статичният анализ и при двата детайла е осъществен с прилагане на осева сила $P=10\text{kN}$. При призматичния детайл са направени симулации при радиуси на закръглениято,

съответно $r=0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3\text{mm}$. При цилиндричния детайл симулациите са осъществени при следните радиуси на основния надрез: $r=1; 2; 3; 4; 5; 6\text{mm}$.

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

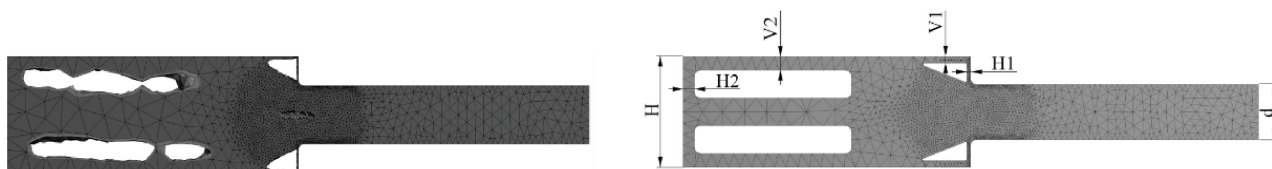
- За призматичния образец: $K_t = \sigma_{\max} / \sigma_{\text{ном}}; \sigma_{\text{ном}} = P / h.d$,

където: σ_{\max} -максимална стойност на напреженията; $\sigma_{\text{ном}}$ -номинална стойност на напреженията; P -приложената осева сила; h, d -линейни размери на напречното сечение.

- За цилиндричния образец: $K_m = \sigma_{\max} / \sigma_{\text{ном}}; \sigma_{\text{ном}} = 4P / \pi.d^2$

където: d е диаметра на образца в зоната на надреза.

Топологичната оптимизация при призматичния образец е осъществена за три характерни случая: при намаляване масата на образца съответно с 10%, 20% и 30%. На фиг. 2 е представена визуализация на оптимизацията, както и скица на детайла. В таблица 1 са представени стойностите на коефициента на концентрация на напрежения получен теоретично и чрез симулациите с ANSYS Workbench преди и след оптимизацията.

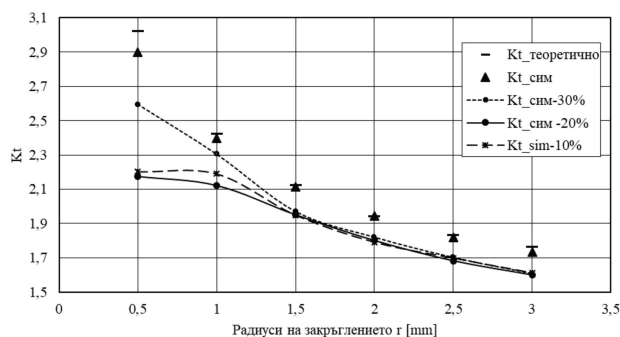


фиг. 2 Визуализация на топологичната оптимизация и модела на изследвания образец.

Таблица 1. Стойности на коефициента на концентрация на напрежения K_t .

Съотношение на геометричните размери $H/d=2$										
r	$\sigma_{\text{ном}}$	σ_{max}	$\sigma_{\text{max}}(-10\%)$	$\sigma_{\text{max}}(-20\%)$	$\sigma_{\text{max}}(-30\%)$	$K_{t\text{сим}}$	$K_{t\text{сим}}(-10\%)$	$K_{t\text{сим}}(-20\%)$	$K_{t\text{сим}}(-30\%)$	$K_{t\text{теор}}$
mm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	-	-	-	-	-
0,5	100	290,1	220,17	217,43	259,55	2,901	2,202	2,174	2,5955	3,020
1	100	239,77	218,98	212,19	230,47	2,398	2,190	2,122	2,3047	2,420
1,5	100	211,57	194,94	195,13	197,06	2,116	1,949	1,951	1,9706	2,120
2	100	194,53	179,11	180,15	182,05	1,945	1,791	1,802	1,8205	1,940
2,5	100	181,71	169,83	168,34	170,25	1,817	1,698	1,683	1,7025	1,830
3	100	173,49	161,21	160,07	160,86	1,735	1,612	1,601	1,6086	1,760

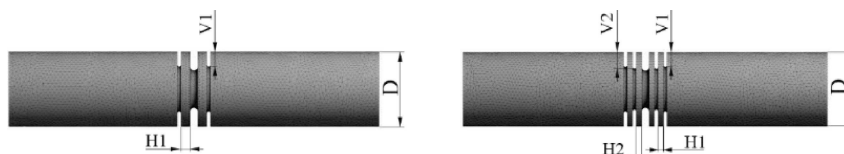
На фиг. 3 е представена графичната зависимост на получените коефициенти K_t във функция от радиуса на закръгление r .



фиг. 3 Графична зависимост между коефициентите K_t и радиуса r на закръгленото.

Получените резултати от симулацията показват, че в резултат на топологичната оптимизация, коефициента на концентрация на напрежения може да намалее значително (25,05% при $r=0,5\text{mm}$ и намаляване масата на образца с 20%).

На фиг. 4 е представена визуализация на оптимизирания цилиндричен образец, а в таблица 2 са представени резултатите от осъществените симулации.

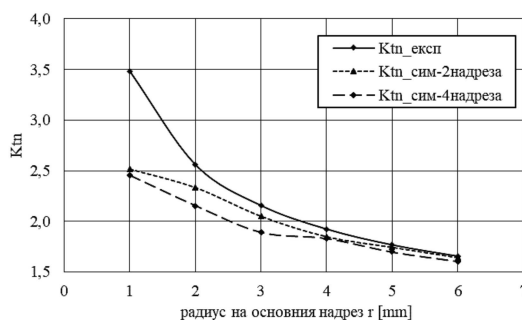


фиг. 4 Визуализация на цилиндричния образец с два и четири допълнителни надреза.

Таблица 2. Стойности на коефициента на концентрация на напрежения K_{tn} .

r mm	$\sigma_{ном}$ MPa	σ_{max} MPa	$\sigma_{max-2надреца}$ MPa	$\sigma_{max-4надреца}$ MPa	$K_{tn_експ}$ -	$K_{tn_сим-2надреца}$ -	$K_{tn_сим-4надреца}$ -
1	31,831	110,89	80,19	78,024	3,484	2,519	2,451
2		81,503	74,352	68,548	2,560	2,336	2,153
3		68,64	65,285	60,205	2,156	2,051	1,891
4		61,216	58,852	58,272	1,923	1,849	1,831
5		56,244	55,5	54,029	1,767	1,744	1,697
6		52,687	52,221	51,0941	1,655	1,641	1,605

На фиг. 5 е представена графичната зависимост на получените коефициенти K_{tn} във функция от радиуса r на основния надрез.



фиг. 5 Графична зависимост между коефициентите K_{tn} и радиуса r на основния надрез.

Получените резултати показват, че концентрацията на напрежение намалява значително (29,65% при радиус $r=1\text{mm}$ и наличие на четири допълнителни надреза).

Използвана литература

Francavilla A., Ramakrishnan C., Zienkiewicz O., "Optimization of shape to minimize stress concentration", Journal of Strain Analysis, Volume: 10 issue: 2, page(s): 63-70 1975.

Gonzales-Mendoza J., Alcántara-Montes S., Silva-Lomelí J., Cruz-Alejo C., Ocampo-Ramírez A., "Size optimization of shoulder filleted shafts with relief grooves for improving their fatigue life", Ingeniería e Investigación vol. 37 №3, december-2017 (85-91).

Klemensø T., Lund E., Sørensen B., „Optimal Shape of Thin Tensile Test Specimen“, Journal of the American Ceramic Society, doi.org/10.1111/j.1551-2916.2007.01538.x, 2007.

Miegroet L., Duysinx P., "Stress Concentration Minimization of 2D fillets using X-FEM and Level Set Description", Structural and Multidisciplinary Optimization volume 33, pages 425–438(2007).

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

Taylor D., Kelly A., Toso M., Susrue L., "The Variable Radius Notch: Two New Methods for Reducing Stress Concentration", Engineering Failure Analysis, Volume 18, Issue 3, April 2011, Pages 1009-1017.