A XIII-a Conferinţă Naţională multidisciplinară – cu participare internaţională,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii româneşti",
SEBEŞ, 2013

STUDIUL NUMERIC AL CONCENTRATORULUI DE TENSIUNE PENTRU O BARĂ CU CRESTĂTURI ÎN „V" SUPUSĂ SOLICITĂRII DE ÎNTINDERE

Dorian NEDELCU, Dănuţ FLOREA, Raoul AVASILOAIE

A NUMERICAL STUDY OF THE LOCAL STRESS FOR A RECTANGULAR BAR WITH OPPOSITE EDGE V-NOTCHES LOADED WITH TENSILE FORCE

The application present a numerical study of the local stress for a rectangular bar with opposite edge V-notches loaded with tensile force and comparative results of the SolidWorks Simulation and experimental data, for various geometrical modifications.

Cuvinte cheie: simulare, SolidWorks, bară, concentrator
Keywords: simulation, SolidWorks, bar, stress concentrator

1. Introducere

Formulele clasice utilizate în proiectarea structurilor sunt bazate pe componente cu geometria constantă a secţiunii sau cu variaţie graduală a conturului. Astfel de condiţii ideale sunt însă mai greu de realizat în zonele cu tensiuni ridicate ale componentelor maşinilor. Prezenţa umerilor, a canelurilor, găurilor, decupărilor şi a altor elemente geometrice au ca efect modificarea distribuţiei tensiunilor şi generarea astfel a unor tensiuni locale ridicate, ca în figurile 1 și 2 [1]. Tensiunile sunt cu atât mai ridicate cu cât schimbarea de secţiune este mai bruscă. Localizarea acestor tensiuni ridicate reprezintă concentratorii de tensiune, măsuraţi prin intermediul coeficientului de concentrare a tensiunii K_t, definit ca raportul dintre

tensiunea locală maximă din concentrator (tensiunea maximă din regiunea perturbată) şi o tensiune de referinţă [1]:

$$K_t = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{nom}} \quad \text{pentru tensiuni normale (întindere/încovoiere)} \qquad (1)$$

$$K_{tS} = \frac{\tau_{\max}}{\tau_{nom}} \quad \text{pentru tensiuni tangenţiale (torsiune)} \qquad (2)$$

Indicele „t” indică faptul că coeficientul de concentrare este teoretic. Definiţia tensiunii nominale σ_{nom} depinde de geometria concretă, definirea corectă a acesteia este importantă pentru valoarea corectă a concentratorului de tensiune. Tensiunea maximă din piesă poate rezulta din teoria elasticităţii sau din măsurători efectuate în laborator. În cazul teoriei elasticităţii, distribuţia plană a tensiunii generată sub acţiunea unor forţe cunoscute depinde numai de geometrie, fără a fi influenţată de proprietăţile de material. Însă materialele pot avea în realitate o distribuţie neuniformă şi pot include defecte interne. Coeficienţii de concentrare trebuie luaţi în considerare în special la componentele confecţionate din materiale fragile. La materiale tenace efectul de concentrare este mai puţin periculos.

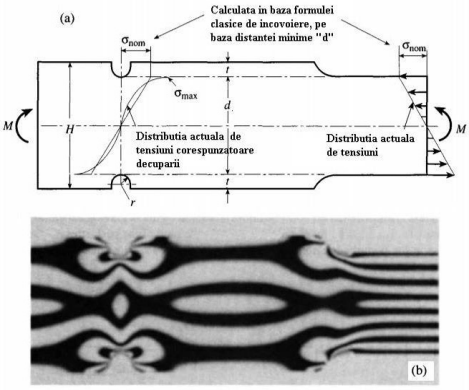

Fig. 1 Tensiuni generate de decupare şi de modificarea secţiunii transversale (a) Epruvetă specimen (b) Imagine cu franjuri fotoelastice

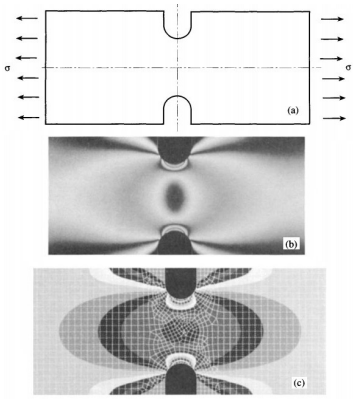

Fig. 2 Tensiuni generate de decupare (a) Epruvetă specimen (b) Imagine cu franjuri fotoelastice (c) Soluţie din metoda elementului finit

Metoda elementelor finite oferă direct tensiunile maxime, ocolind astfel necesitatea utilizării coeficienţilor de concentrare, de asemenea poate înlocui tehnicile experimentale, cum ar fi

fotoelasticitatea pentru a determina coeficienţii de concentrare. Totuşi compararea valorilor rezultate din analiza cu elemente finite cu cele calculate sau măsurate oferă o măsură a corectitudinii rezultatelor.

2. Geometria analizată

Geometria analizată reprezintă o bară dreptunghiulară de lungime **L**, cu lăţimea **W** si grosimea **h**. Această bară este prevăzută cu două crestături în V de adâncime **d**, cu raza **r** la vârf şi unghiul α între flancuri, figurile 3 şi 4. Bara este supusă la întindere cu o forţă F. Valorile coeficientului K_t au fost preluate din aplicaţia e-Fatigue [2], pentru parametrii daţi W, d, r şi α, cu condiţiile $\alpha \leq 150^o$ şi 0,1<d/r<50. Geometria analizată este prezentată în figura 4. Tensiunea nominală se calculează prin relaţia:

$$\sigma_n = \frac{F}{(W - 2 \cdot d) \cdot h} \tag{3}$$

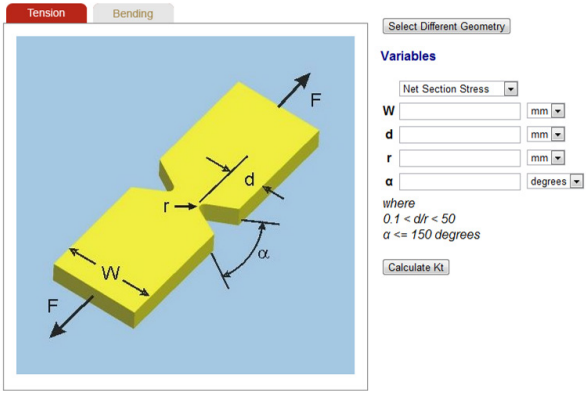

Fig. 3 Interfaţa aplicaţiei e-Fatigue

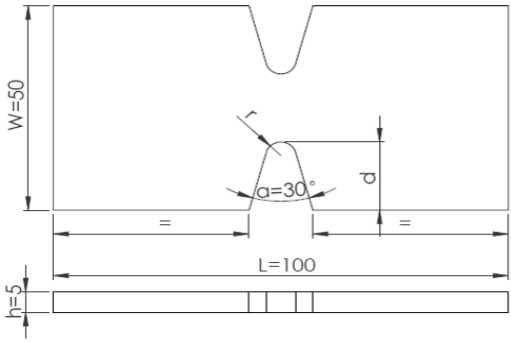

Fig. 4 Geometrie bară dreptunghiulară cu crestături în V (SolidWorks)

3. Date din literatura de specialitate

În literatura de specialitate se prezintă graficele de variaţie ale parametrului K_t, determinate experimental sau analitic. Astfel din aplicaţia e-Fatigue [2] rezultă variaţia parametrului $\mathbf{K_t}$ în funcţie de raportul **r/d** pentru valorile raportului ***W/d*** = 3, 5, 10, 20, unghiul $\alpha = 30^o$, ***L*** = 100, ***W*** = 50 şi adâncimea crestăturilor ***d*** = 16,67, 10, 5, 2,5, figura 5.

Figura 6 prezintă variaţia parametrului K_t conform [1].

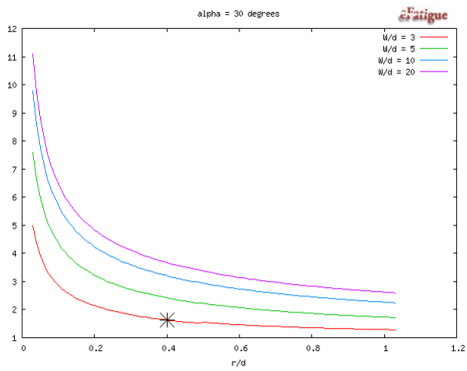

Fig. 5 Variaţia parametrului K_t funcţie de raportul **r/d** conform [2]

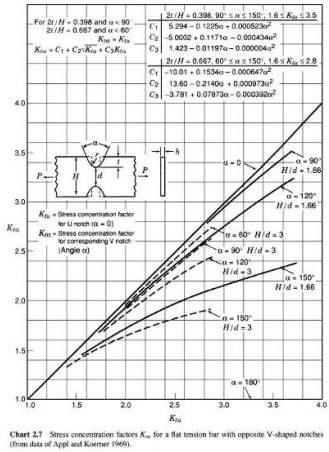

Fig. 6 Variaţia parametrului K_t conform [1]

4. Condiţii de simulare aplicate în modulul SolidWorks Simulation

Simularea întinderii barei s-a efectuat pentru valoarea forţei **F**=10000 N şi 20 de cazuri de geometrii generate prin variaţia raportului **W/d** respectiv **r/d**, conform tabelului 1. În modulul SolidWorks Simulation [3] se vor crea studii de analiză statică lineară, corespunzătoare variantelor de geometrii analizate şi se va utiliza discretizare de tip solid. Condiţiile de discretizare sunt de tip **Curvature**, impunându-se opţiunea **Fine**, ceea ce va genera o discretizare fină a geometriei. Materialul asociat barei de secţiune circulară, este selectat din librăria programului: **Alloy Steel**, cu următoarele proprietăţi: modulul de elasticitate longitudinal $E=2{,}1\times10^5$ N/mm^2, coeficientul lui Poisson 0,3 şi densitatea 7900 kg/m^3. Bara se va fixa în origine, lungimea acesteia fiind orientată pe direcţia X, iar forţa **F**=10000 N se aplică pe faţa opusă.

5. Comparaţie rezultate simulare cu valori experimentale

Rezultatele finale ale simulării sunt prezentate în tabelul 1 [4]. Mărimile din tabele au următoarele semnificaţii:

Tabel 1

Întindere F=10.000 N Lungime bară L=100 mm Lăţime bară W=50 mm Grosime bară h=5 mm Unghi α=30°									
Caz	**W/d**	**d**	**r/d**	**r**	σ_n Tensiune nominală	K_t biblio-grafie	$\sigma_{VonMises}$ Solid Works	K_t Solid Works	**Eroare**
[-]	[-]	mm	[-]	mm	MPa	[-]	MPa	[-]	%
1	3	16.67	0.2	3.33	120.00	2.14	243.8	2.03	5.06
2	3	16.67	0.4	6.67	120.00	1.63	206.3	1.72	-5.47
3	3	16.67	0.6	10.00	120.00	1.46	158.5	1.32	9.53
4	3	16.67	0.8	13.33	120.00	1.36	165.1	1.38	-1.16
5	3	16.67	1	16.67	120.00	1.29	139.5	1.16	9.88
6	5	10.00	0.2	2.00	66.67	3.22	201.8	3.03	5.99
7	5	10.00	0.4	4.00	66.67	2.41	165.7	2.49	-3.13
8	5	10.00	0.6	6.00	66.67	2.07	143.8	2.16	-4.20
9	5	10.00	0.8	8.00	66.67	1.86	116.6	1.75	5.97
10	5	10.00	1	10.00	66.67	1.73	102.5	1.54	11.13
11	10	5.00	0.2	1.00	50.00	4.24	202.1	4.04	4.67
12	10	5.00	0.4	2.00	50.00	3.2	151.5	3.03	5.31
13	10	5.00	0.6	3.00	50.00	2.73	138.4	2.77	-1.39
14	10	5.00	0.8	4.00	50.00	2.45	111.2	2.22	9.22
15	10	5.00	1	5.00	50.00	2.27	94.7	1.89	16.56
16	20	2.50	0.2	0.50	44.44	4.84	198.5	4.47	7.72
17	20	2.50	0.4	1.00	44.44	3.67	148	3.33	9.26
18	20	2.50	0.6	1.50	44.44	3.15	118.6	2.67	15.29
19	20	2.50	0.8	2.00	44.44	2.83	108.9	2.45	13.42
20	20	2.50	1	2.50	44.44	2.62	91.2	2.05	21.68

- $K_{t\ bibliografie}$ - reprezintă valoarea teoretică a concentratorului de tensiune;
- σ_n - reprezintă valoarea tensiunii nominale calculată prin relaţia (3);
- $\sigma_{Von\ Mises\ SW}$ - reprezintă valoarea tensiunii maxime conform criteriului von Mises, rezultat din studiile de analiză SolidWorks;

- **$K_{t\ SolidWorks}$** - reprezintă valoarea concentratorului calculat pe baza rezultatelor din simularea numerică, folosind relaţia (4):

$$K_{t_{solidworks}} = \frac{\sigma_n}{\sigma_{VonMisesSW}} \tag{4}$$

- **Eroarea [%]** – reprezintă eroarea procentuală între valoarea concentratorului determinat experimental şi cel rezultat din studiile de analiză SolidWorks determinată prin relaţia (5):

$$Eroare = \frac{(K_{t\,bibliografie} - K_{t\,SolidWorks}) \cdot 100}{K_{t\,Bibliografie}} [\%] \tag{5}$$

Rezultatele simulării numerice sunt prezentate grafic comparativ cu valoarea concentratorului determinat din aplicaţia e-Fatigue [2], în figurile 7, 8, 9, 10. Figurile 11, 12 exemplifică distribuţia tensiunii $\sigma_{VonMisesSW}$ rezultată din simulare, pentru cazurile 5 respectiv 20.

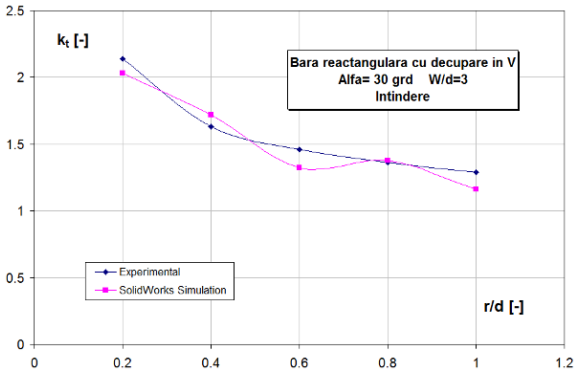

Fig. 7 Variaţie concentrator pentru parametrul α=30° W/d=3

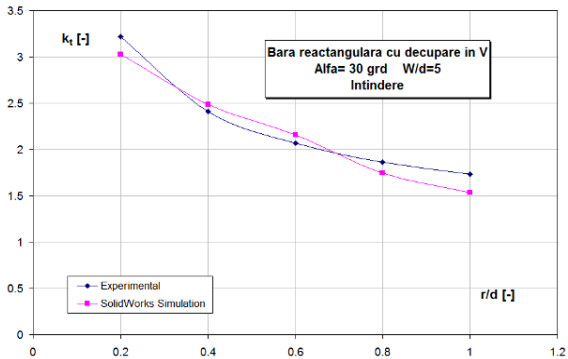

Fig. 8 Variaţie concentrator pentru parametrul α=30° W/d=5

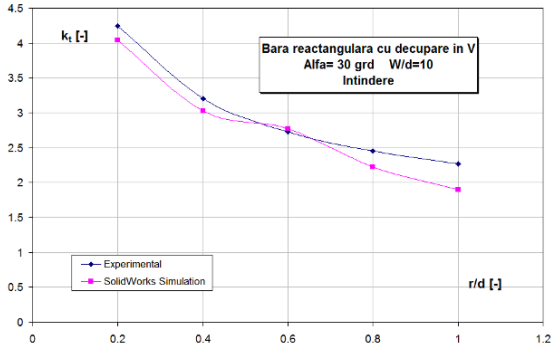

Fig. 9 Variaţie concentrator pentru parametrul α=30° W/d=10

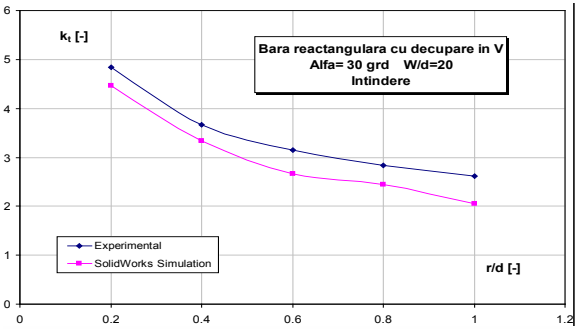

Fig. 10 Variaţie concentrator pentru parametrul α=30° W/d=20

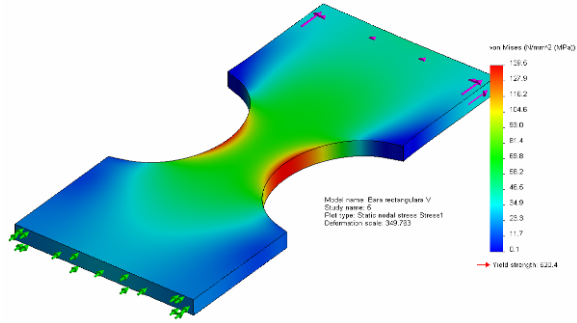

Fig. 11 Caz 5 Întindere W/d=3; d=16.67; r/d=1; r=16.67; $\sigma_{vonMises}$ = 139.5 MPa

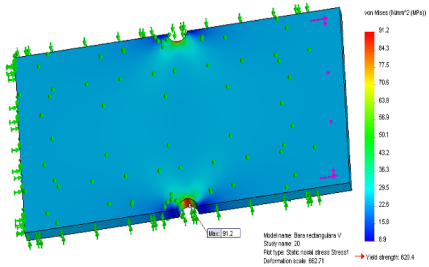

Fig. 12 Caz 20 Întindere W/d=20; d=2.5; r/d=1; r=2.5; $\sigma_{vonMises}$ = 91.2 MPa

6. Concluzii

Din analiza rezultatelor numerice şi grafice rezultă următoarele concluzii:

- Valoarea maximă a tensiunii von Mises se obţine în dreptul razei la vârf **r** al crestăturilor V. Valorile concentratorului de tensiune obţinute în urma simulării numerice prin modulul SolidWorks Simulation sunt comparabile cu cele preluate din literatura de specialitate, diferenţele fiind mai ridicate în zona valorilor mari ale raportului **r/d** şi se încadrează în limita domeniului de erori 1,16 ÷ 21,68 %.
- Eroarea procentuală maximă de 21 68 % este obţinută pentru raportul **W/d =** 20 şi **r/d =** 1, iar valoarea procentuală minimă de 1,16 %, este obţinută pentru raportul **W/d =** 3 şi **r/d =** 0,8.
- Din cele 20 de cazuri calculate, 10 se încadrează sub eroarea procentuală de 6 %.

Mulţumiri

Autorii mulţumesc pentru sprijinul acordat de Fondul Social European Programul Operaţional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane (FSE POSDRU), prin Ministerul Muncii, Familiei şi Protecţiei Sociale prin co-finanţarea proiectului (ProDOC) POSDRU/88/1.5/S/ 61178 şi (DocInvest) POSDRU/107/1.5/S/76813.

BIBLIOGRAFIE

[1] Pilkey, Water D., *Peterson's Stress Concentration Factors*. Second Edition. New York:John Wiley & Sons, Inc., 1997.
[2] * * * https://www.efatigue.com/constantamplitude/stressconcentration/
[3] Nedelcu, D., *Proiectare şi simulare numerică cu SOLIDWORKS*, Septembrie 2011, Editura Eurostampa, Timişoara, ISBN 978-606-569-276-3.
[4] Joiart, Cr.Udo., *Calculul concentratorilor de tensiuni prin modulul SolidWorks Simulation*, Lucrare de licenţă UEMR, 2012, Coordonator ştiinţific Prof.Dr.Ing. Dorian Nedelcu.

Prof.Dr.Ing. Dorian NEDELCU
e-mail: d.nedelcu@uem.ro
Drd.Ing. Dănuţ FLOREA
e-mail: danut.florea@petrom.com
Drd.Ing. Raoul AVASILOAIE
e-mail: raulynoxx@yahoo.com
Universitatea „Eftimie Murgu” din Reşiţa