

ИЗСЛЕДВАНЕ ГРАНИЦАТА НА УМОРА ПРИ СТАНДАРТНИ ПРОБНИ ТЕЛА С НАЛИЧИЕ НА НАДРЕЗИ

ИВАНКА ДЕЛОВА, РАЙЧО РАЙЧЕВ

Технически университет София- филиал Пловдив
prosto_vanq89@abv.bg, rpraichev@tu-plovdiv.bg

Резюме: В статията са представени изследвания, свързани с границата на умора при пробни образци с наличие на надрези. Изследванията са осъществени чрез специализирания софтуер ANSYS. За осъществяване на симулациите образците са предварително подложени на осево натоварване и е определено влиянието на надрезите върху концентрацията на напрежение в застрашените участъци. Резултатите са представени в графичен вид

Ключови думи: граница на умора, надрези, ANSYS, концентрация на напрежение.

STUDY OF FATIGUE LIMIT UNDER STANDARD TEST SPECIMENS WITH PRESENCE OF NOTCHES

IVANKA DELOVA, RAYCHO RAYCHEV

Technical University of Sofia Branch Plovdiv
prosto_vanq89@abv.bg, rpraichev@tu-plovdiv.bg

Abstract: The article presents studies related to the limit of fatigue in test specimens with noches. The research was performed using the specialized ANSYS software. To perform the simulations, the samples were pre-subjected to axial loading and the influence of the notches on the stress concentration in the endangered areas was determined. The results are presented graphically.

Key words: fatigue limit, notches, ANSYS, stress concentration.

1. Въведение

Поведението на детайлите в машиностроенето при циклично натоварване зависи от много фактори – структурата на материала, неговите механични свойства, фазов състав и др. От практическа гледна точка е важно да може да бъде определена зависимостта между границата на разрушаване на материала и броят цикли до разрушаването. Съществуващите методи за определяне на тази зависимост са свързани с механични изпитвания, които отнемат много време и средства. През последните години компютърните симулации проведени със специализирани софтуери отразяват изключително точно поведението на изследваните обекти, независимо от сложното натоварване на които те са подложени.

Редица научни издания са посветени на изследвания, свързани с умората на материала.

В [1] е представено експериментално изследване на образци с наличие на централен

надрез. Основната цел е разработването на метод за оценка якостта на умора при огъване. За провеждане на експеримента са специално проектирани и триточкови образци за огъване с наличие на цилиндрични надрези. Представянето на якостта на умора при огъване се изразява като максимално действително напрежение в критичната точка, което се увеличава с намаляване радиуса на надреза. Анализирайки ефектите от разпределението на напрежението върху якостта на умора при огъване, авторите представят метод за оценка на якостта на умора при опън на гладък образец.

В [2] е приложена теорията на критичните разстояния за да бъде прогнозирана границата на умора при пробни образци с наличие на надрез, базирайки се на данните за гладки образци. Основният аргумент на авторите е, че при режим на умора с нисък цикъл окончателното разкъсване настъпва при

достатъчно къси пукнатини, които остават в зоната на напрежение, повлияно от надреза.

В [3] е изследван ефектът от радиуса на надрезите върху концентрацията на напрежение, намаляването на якостта и умората на материала, при образци с наличие на надрези. Материалът, който е избран за това изследване е Al 2024-T3. Приложен е обемен подход за получаване на стойностите на коефициента на намаляване на якостта на надреза и резултатите са сравнени с тези, получени от методите на Нойбер и Питърсън. Тестовите за умора с контролирано натоварване на образците са проведени на специализирана серво-хидравлична машина. Границата на умората при образците е предвидена въз основа на наличната плавна крива S-N на Al2024-T3. За да бъдат определени уморните цикли, с помощта на софтуера ANSYS са определени стойностите на напрежение и деформация в основата на надреза. Работата показва, че обемият подход върши много добра работа за прогнозиране границата на умората при образци, с наличие на надрези.

В [4] са представени механични изпитвания за умора с нисък цикъл за образци, изработени от неръждаема стомана, с наличие на надрези. Резултатите от изпитването на опън показват, че границата на провлачване и якостта на опън при образците с надрези са по-високи от тези на гладкия образец. Границата на умора при образците с надрези е прогнозирана чрез локален подход „напрежение-деформация“.

Статията [5] описва методология за анализ границата на умора на образци с надрези от алуминий 7075 T7531, използвайки HVS (highly stressed volume) подход. Разработена е стендова установка за изпитване на образци с различни концентрации на напрежение при многократно високочестотно огъване. Силно натоварените зони се определят прецизно, като се използва статичен анализ на крайните елементи в комбинация със софтуера Matlab за последваща обработка. Резултатите показват, че силно натоварените зони могат да се използват като точен и ефективен параметър на геометрията на образците, който отразява ефектът от наличието на надрези при алуминиевите компоненти.

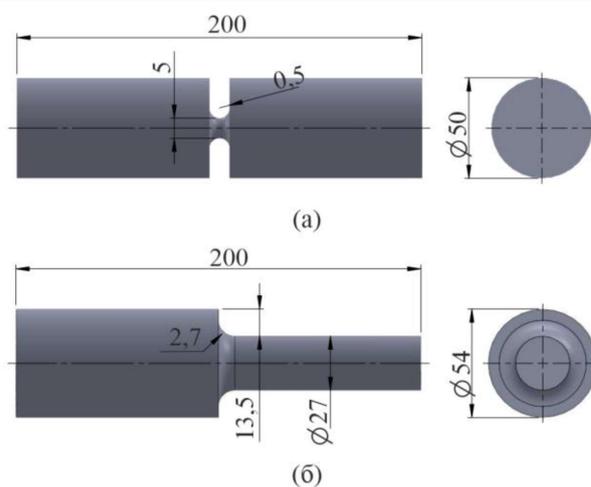
В статията [6] е изследвана границата на умора при кръгли образци с наличие на надрези при контролирано циклично натоварване. Прогнозирането на уморната граница се осъществява, като се използва връзката между относителното удължение при образца и броят на циклите до разрушаване.

Максималните стойности на относителното удължение се изчисляват чрез статичен анализ на крайните елементи, използвайки софтуера ABAQUS. Симулационните модели и параметрите на материала се валидират чрез сравняване на резултатите от симулацията и експерименталните резултати от тестове на кръгли образци, проведени със специализирано оборудване.

Основната цел в настоящата статия е с помощта на специализиран софтуер да бъде определена границата на умора при стандартни пробни тела с наличие на надрези.

2. Описание на изследването.

На Фиг. 1 са представени схемите с линейните размери на изследваните образци.



Фиг. 1. Схеми на изследваните образци: (а) образец с наличие на централен надрез; (б) образец с наличие на закръгления.

С помощта на специализирания софтуер ANSYS е осъществен статичен анализ, при който образците са подложени на осево натоварване и са определени стойностите на напреженията в застрашените участъци.

За да бъдат намалени максималните стойности на напреженията, към двата образца са добавени допълнителни надрези със специфична форма. Чрез вградения в софтуера модул OptiSLang е осъществена оптимизация, която има за цел да определи геометричните параметри на допълнителните надрези така, че стойностите на напреженията да бъдат минимизирани.

След определяне на геометричните размери на допълнителните надрези, чрез модула nCode DesignLife на ANSYS е определена границата на умора при изследваните образци.

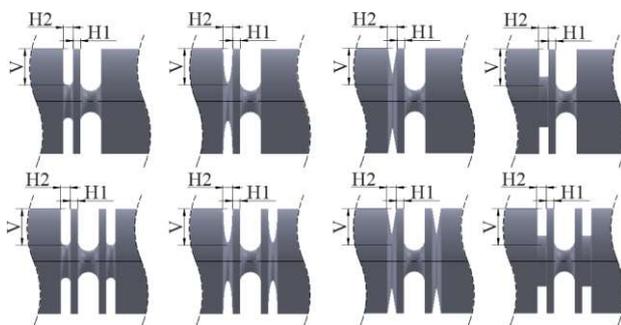
3. Резултати от симулациите.

В таблица 1 са представени получените стойности на максималните напрежения от статичния анализ с ANSYS при изследваните образци, преди добавянето на допълнителни надрези.

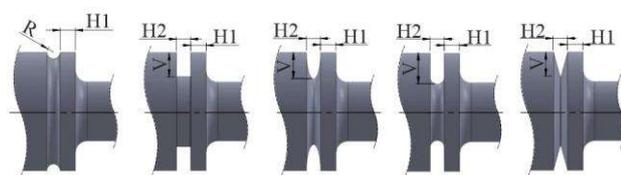
Таблица 1.

ОПИТНИ ОБРАЗЦИ	Осево натоварване	Максимални стойности на нормалните напрежения
	Сила F [N]	σ_{max} [MPa]
Цилиндричен образец с централен надрез	2000	259.13
Цилиндричен образец със закръгления	100000	361.4

На Фиг. 1 и Фиг. 2 са представени геометричните параметри на надрезите при изследваните образци.



Фиг. 2. Геометрични параметри на надрезите при образца с централен надрез.



Фиг. 3. Геометрични параметри на надрезите при образца с наличие на закръгления.

В таблица 2 и таблица 3 са представени геометричните размери на надрезите след осъществената софтуерна оптимизация с модула OptiSLang. Представени са и максималните стойности на напреженията, които се получават в застрашените участъци от образците при наличието на допълнителни надрези.

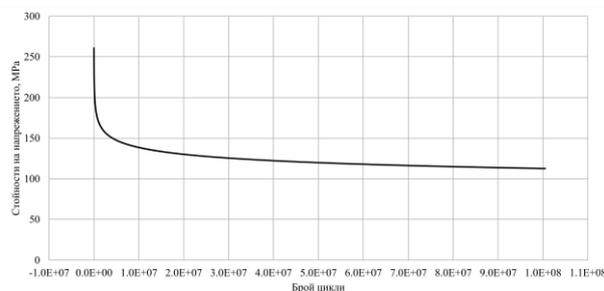
Таблица 2.

Допълнителен надрез	H1, mm	H2, mm	V1, mm	σ_{max} , MPa
U-надрез	7.166	3.242	10.471	310.743
V-надрез	8.667	1.425	5.366	355.476
Призматичен надрез	9.885	4.334	7.283	340.392
Елипсовиден надрез	8.197	2.271	6.028	344.039
Цилиндричен надрез	4.018	R=1.520 mm		351.458

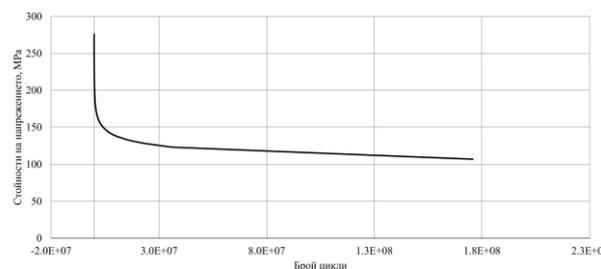
Таблица 3.

Резултати от оптимизацията на цилиндричния образец с наличие на централен U-образен надрез.				
Допълнителен надрез	H1, mm	H2, mm	V1, mm	σ_{max} , MPa
U-надрез	2.459	1.250	21.013	192.987
V-надрез	1.622	2.222	20.988	237.063
Призматичен надрез	4.636	1.873	15.249	243.613
Елипсовиден надрез	2.471	1.471	18.485	200.065
Двустранен U-надрез	3.426	1.452	18.620	180.924
Двустранен V-надрез	2	2	15	241.069
Двустранен призматичен надрез	0.859	0.851	16.312	242.990
Двустранен елипсовиден надрез	4.018	4.305	19.591	205.433

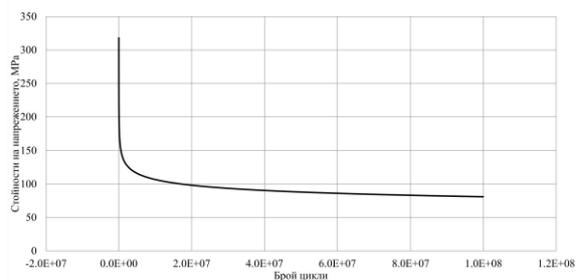
С помощта на модула nCode DesignLife, който е импортиран в ANSYS, е определена границата на умора при изследваните образци преди и след оформянето на допълнителните надрези. На Фиг. 4, Фиг. 5 и Фиг. 6 са представени кривите на умора при изследваните образци с наличие на допълнителни надрези.



Фиг. 4. Криви на умора при цилиндричен образец с наличие на допълнителни единични надрези.



Фиг. 5. Криви на умора при цилиндричен образец с наличие на допълнителни двустранни надрези.



Фиг. 6. Крива на умора при цилиндричен образец със закръгления.

4. Заключение

Получените резултати за максималните напрежения след оптимизацията показват, че при точно определени геометрични размери и разположение на допълнителните надрези спрямо основните, напреженията в застрашените участъци могат да намалеят значително. Това понижаване на напреженията оказва съществена положителна роля върху границата на умора при изследваните образци.

Определените параметри в настоящото изследване могат да имат своето практическо значение след валидиране на получените резултати от симулацията с реални механични изпитвания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nakanishi T., Deng G., "Bending fatigue strength design method for machine components with complex geometries", *Frattura ed Integrità Strutturale*, 46(2018) 45-53; DOI: 10.3221/IGF-ESIS.46.05.
2. Eriksson R., Simonsson K., Leidermark D., Moverare J., "Evaluation of notch effects in low cycle fatigue of alloy 718 using critical distances", *MATEC Web of Conferences* 165, 15001 (2018).
3. Zehsaz M., Hassanifard S., Esmaeili F., "Fatigue life estimation for different notched specimens based on the volumetric approach", *EPJ Web of Conferences* 6, 42001 (2010).
4. Tan J., Wu Q., Sun R., Jin D., "Fatigue Life Predictions of Notched Specimen for 022Cr17Ni12Mo2 Stainless Steel", 6th International Conference on Sensor Network and Computer Engineering (ICSNCE 2016).
5. Hooreweder B., Moens D., Boonen R., Sas P., "Fatigue strength analysis of notched aluminium specimens using the highly stressed volume method", *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures: Vol 35, Issue 2*, 2012.
6. Joadder B., Shit J., Acharyya S., Dhar S., "Fatigue Failure of Notched Specimen—A Strain-Life Approach", *Materials Sciences and Applications*, 2011, 2, 1730-1740.