

РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за получаване на образователната и научна степен „доктор”

Област на висше образование – Технически науки

Професионално направление – Машинно инженерство

Специалност – Машинознание и машинни елементи

Тема: „Повишаване на уморната дълготрайност на метални конструкционни елементи с некръгли отвори”

Автор: маг. инж. Мариета Димитрова Иванова

Рецензент: проф. дтн инж. Йордан Тодоров Максимов

Актуалност на разработения в дисертацията проблем

Изискванията за високо качество и надеждност в съвременното машиностроене налагат създаване на нови технологии за обработване на отворите в металните конструкции. Задълбоченият анализ на причините, довели до аварии на метални конструкции, независещи пряко от човешкия фактор, показва, че една от основните причини е умората на материала около отвори, следствие динамично и, в частност, циклично натоварване. Отворите са потенциално начално месторазположение на възникване и развитие на пукнатини от умора, най-вече от първи тип, в циклично натоварени метални елементи, тъй като са концентратори на напрежения. Разработването на подходи за ограничаване на развитието на уморни пукнатини е изключително актуална инженерна дейност в такива важни сфери на промишлеността, каквито са самолетостроенето, корабостроенето, строежа и експлоатацията на наставови железни пътища, строежа на носещи метални конструкции и др.

Дисертацията е посветена на изследване на иновативен подход, развит в технология, чрез която се въвеждат полезни остатъчни напрежения на натиск около некръгли отвори в тънкостенни метални конструкции, образувани на основата на тънкостенна плоча, усилена със стифнери и напречно разположени на тях Т-образни гирдери. Тези напрежения, подобно на скоба, затварят съществуващите около концентраторите пукнатини от първи тип и препятстват възникването на нови такива. Изследваната конструкция осигурява равномерна и силно повишена огъвна коравина и в двете главни инерционни равнини и намира приложение в конструкции на бързоходни яhti и др. Предвид изложеното по-горе, актуалността и полезността на дисертационния труд не подлежи на никакво съмнение.

Познава ли дисертантът състоянието на проблема

Направените в дисертацията проучвания, обосновки, изследвания и използвани методи за анализ излизат от рамките на общоприетото за научната специалност „Машинознание и машинни елементи” и засягат основни постулати от ме-

ханика на материалите, механика на твърдото деформируемо тяло, механика на разрушението, експериментална механика, топло-пренасяне, метод на крайните елементи. В този аспект дисертацията има поли-дисциплинарен характер. Предвид последното, и съдейки по използваните литературни източници (общо 141 на брой), значителна част от които в списания на Elsevier, смятам, че дисертантът познава задълбочено изследвания проблем.

Методика на изследване

Глобалната концепция на изследване е оценката на уморната дълготрайност да се прави индиректно, посредством оценка на разпределение и преразпределение на въведените полезни остатъчни напрежения около естествените концентратори. Предвид геометрията на конструкцията и стохастичния характер на натоварване, това е целесъобразен вариант на решение. Предвид поли-дисциплинарния характер на изследвания проблем и приложната насоченост на дисертацията, напълно правилно е възприет комбиниран подход, съчетание от крайно-елементни симулации и натурен експеримент.

Кратка характеристика на материала, върху който са формулирани приносите

Дисертационният труд съдържа въведение, списък на използвани символи и съкращения, 4 глави, класификация на приносите, публикации по дисертацията, използвана литература, общо на 139 страници. В труда са включени 89 фигури и 15 таблици.

Глава 1 е посветена на критичен анализ на проблема за повишаване на уморната дълготрайност на метални конструкционни елементи с отвори. Разгледана е физическата природа на разрушаването от умора, пречупено през призмата на механика на разрушаването. Показани и систематизирани са много примери на метални конструкции с разрушения от умора. На този фон съвсем естествено е показано мястото и значението на изследваната конструкция. Направен е анализ на вариантите за уякчаване на тънкостенна плоча и е обоснован изборът, който осигурява равномерни огъвни коравини в двете главни инерционни равнини. Направена е класификация на отворите в металните конструкции като естествени концентрации на напреженията. Значително място е отделено на анализ и класификации на методите за повишаване на уморната дълготрайност на конструкционни елементи със скрепителни отвори. Като важен принос в тази глава намирам разработения диференциално морфологичен подход за синтез на методи за създаване на натискова зона около некръгли отвори. Накрая са формулирани целта и задачите на дисертационната работа. Тази глава ми дава основание да смятам, че дисертантът значително е разширила познанията си в една трудна област, каквато е механика на разрушението. В този аспект образователната част от разработването на дисертацията е надхвърлила значително очакваното по презумпция.

Изследваната конструкция е заварена. Затова в **гл. 2** е извършено моделиране на механичните характеристики на два вида стомани, S235 и S355, във функцията от температурата. Последното е безусловно необходимо, тъй като в крайно-елементните симулации на свързан термо-механичен проблем, какъвто е заваряването, трябва да се дефинира адекватен конститутивен модел на материала. За нагряване и контрол на температурата е разработено устройство за високо-честотно нагряване, адаптирано за универсална изпитвателна машина

ZD10/90. Механичните характеристики са определени на базата на едномерен опънов тест, като е прието, че получените зависимости „напрежение-деформация“ са в сила за произволно напрегнато състояние и пътица на натоварване. Това е изпитан подход в механика на материалите. На база на получените експериментални резултати са направени съответните изводи, а именно, че тези резултати са надеждна основа за изграждане на адекватни конститутивни модели на двете стомани.

Глава 3 е посветена на моделиране на съзнателно внесените полезни остатъчни напрежения около закръгленията на некръглите отвори. Изследваната конструкция е типична за леки бързоходни яhti, която в този случай се прави от алуминиева сплав. Ogeman и Josefson от Технологичния университет в Гьотеборг, Швеция, са изследвали полезния ефект от прилагане на метода *rad stress coining* за въвеждане на полезни остатъчни напрежения. Изобретения от Ostin Phillips пионерен метод (и подобрените варианти на Eugen Speakman) обаче са практически неприложими за стоманени конструкции. Затова в дисертацията е развит иновативен метод: в местата със закръгления се изработват цилиндрични отвори, които се стресират, след което се изрязва контурът на некръглият отвор. Експериментите са проведени в лаборатория „Изпитания на металите“, като стресирането на отворите е направено върху машина ZD10/90 по две схеми – едностранна и разностранна. Въведените остатъчни окръжни нормални напрежения са определени в качествен и количествен аспект експериментално и чрез МКЕ. Използван е авторитетния рентгено-структурен метод *x-ray diffraction*. Дълбочината на проникване на лъча за стомани е няколко микрометра, т.е. измерването е извършено по челните повърхнини. Симулациите чрез МКЕ са извършени с САЕ системата ABAQUS, по мое мнение достатъчно мощна САЕ система, даваща възможност за пълна творческа изява на изследователя, като стъпките са съгласувани в псевдовремето съобразно реалната технология. Накрая са направени съответните изводи.

В **глава 4** са изложени резултатите от изучаване на преразпределението на полезните остатъчни напрежения вследствие температурно въздействие от заваряване. Докато в предната глава това преразпределение качествено и количествено е определено експериментално, тук е използван крайно-елементен подход. Поставен и решен е свързан термо-механичен проблем. По същество връзката е едностранна, тъй като формирането на нестационарно и нехомогенно температурно поле е породено от външен подвижен топлоизточник, а не от разпределен вътрешен такъв, какъвто се явява дисипирането на енергия от работата на вътрешните сили. По тази причина е избран вариант с два последователни КЕ анализа. Първият е транзитен нелинеен анализ на топло-пренасяне, а вторият е нелинеен статичен еласто-пластичен. Намереното нестационарно и нехомогенно температурно поле е активен товар във втория анализ. В първия анализ подвижният външен топлоизточник е симулиран чрез гранично условия от втори род – дефирнирана е плътност на топлинен поток по последователни възли посредством табулирани функции по двоен триъгълник върху тройка възли. Поставена и решена (посредством КЕ симулации) е многокритериална оптимизационна задача. Векторът на целевите функции съдържа умело подбрани и обосновани 7 компоненти. Всъщност управляващите фактори са два: стегнатост и последователността на заваряване. Като резултат от решението е получена оптимална стегнатост за стресиране на предварително пробитите цилиндрични отвори и последователност на ъгловите заварки. По този начин

предложеният иновативен метод за въвеждане на полезни остатъчни напрежения около некръгли отвори е развит до технология.

Приноси на дисертацията

Научно-приложните приноси класифицирам в следните групи:

А. Създаване на нови класификации, методи, конструкции, технологии, схеми, модели:

- * Класификация и синтез на методи за повишаване на уморната дълготрайност на метални конструкционни елементи с некръгли отвори;
- * 3D КЕ модели за моделиране на полето на остатъчните напрежения около некръгли отвори;
- * Обобщен 3D КЕ модел за нелинеен свързан термо-механичен анализ на заварена носеща конструкция с некръгли отвори;
- * КЕ подход за изследване на товароносимостта при огъване на планка с некръгли отвори с въведени около тях полезни остатъчни напрежения;
- * КЕ подход за многоцелева оптимизация за повишаване на уморната дълготрайност на заварена носеща конструкция с некръгли отвори;
- * Температурно-зависими конститутивни модели на конструкционни стомани в условията на деформационна изотропност.

Б. Получаване и доказване на нови факти:

- * Експериментални и КЕ резултати за разпределение и преразпределение на остатъчните окръжни нормални напрежения около некръгли отвори в образци от конструкционна стомана.

Приложните приноси са от категорията:

В. Приноси за внедряване на конструкции и технологии

- * Устройство за високочестотно нагриване на равнинни образци;
- * База данни на температурно-зависими механични характеристики на конструкционни стомани;
- * Технология за стресиране на некръгли отвори в метална конструкция, съставена от тънкостенна плоча, усилена със стифнери и гирдери.

Публикации по дисертацията

Основните резултати от дисертацията са публикувани, достатъчно добре разгласени и обсъдени, и напълно удовлетворяват Правилника за придобиване на научни степени и заемане на академични длъжности в Технически университет Габрово.

Посочен е списък със 7 публикации. Трудовете са отпечатани и разпределени както следва: шест статии в национални списания; един научен доклад на международна научна конференция в България. Една от статиите е самостоятелна.

В каква степен дисертационния труд и приносите са лично дело на дисертанта

Дисертацията е направена под вещото ръководство на научния ръководител проф. д-р Галя Дунчева. Смятам, че всичко, което е трябвало да се извърши лично от докторанта, е направено.

Автореферат

Авторефератът е направен според изискванията, установени през годините и правилно отразява основните положения в дисертацията и научните приноси.

Бележки по дисертационния труд

Съществени забележки към дисертационния труд нямам. Инженерното решение на една задача има долна граница, под която не бива да се слиза, но горна граница няма. Винаги има какво да се желае.

По отношение на КЕ симулации с ABAQUS на свързани термо-механични проблеми в условията на деформационна анизотропия бих препоръчал на дисертанта следното в бъдещата ѝ работа. Моделът на температурно-зависимо нелинейно кинематично уякчаване, който отчита преместването на повърхнината на провлачване в пространството на напреженията, съдържа кинематичен модул и параметър „гама”, които в действителност са функция на температурата. Те се моделират на базата на едномерни тестове като функция на температурата. Поради спецификата на ABAQUS само кинематичния модул може да бъде температуро-зависим. За преодоляване на този проблем, за параметъра „гама” се избира константна (средно интегрална) стойност, и след вторично калиброване се намира функция на кинематичния модул от температурата. По този начин и в свързани термо-механични проблеми в условията на деформационна анизотропия може да се използва нелинейно кинематично уякчаване.

Други въпроси

Категорично смятам, че образователната функция на докторантурата е изпълнена. Докторантът е повишил и е придобил нови познания в една иновативна област, каквато е повишаване на уморната дълготрайност на конструкционни елементи с естествени концентратори на напреженията. За това свидетелстват не само дисертационния труд и публикациите по него, но и разговорите, които съм имал с нея.

Заклучение

Разработената дисертация „Повишаване на уморната дълготрайност на метални конструкционни елементи с некръгли отвори” с автор маг. инж. Мариета Димитрова Иванова отговаря на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България. Авторът на дисертационния труд показва отлична подготовка в третата образователна степен и реализация на знания в областта на машинознание и машинни елементи, механика на материалите, механика на твърдото деформируемо тяло, механика на разрушението, експериментална механика, топло-пренасяне, метод на крайните елементи. С това авторът показва, че е изграден научен работник, който може самостоятелно да решава технически проблеми в горепосочените области. Предлагам на уважаемото научно жури да присъди на инж. Мариета Димитрова Иванова

образователната и научна степен „доктор” в област на висше образование „5. Технически науки”, професионално направление „5.1. Машинно инженерство”, научна специалност “Машинознание и машинни елементи”.

Февруари 2015
Габрово

Рецензент:
(проф. дтн инж. Й. Т. Максимов)