

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за придобиване на:

образователна и научна степен "доктор"	X
научна степен "доктор на науките"	
	вярното се отбелязва със знака "X"

Автор на дисертационния труд:

инж.		Никита	Александрович	Лутченко	
акад. дл.	научна степен	име	презиме	фамилия	месторабота

Тема на дисертационния труд:

ПРОУЧВАНЕ НА ВЪЗМОЖНОСТТА ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА УЛТРАФИНОЗЪРНЕСТА СТРУКТУРА НА ЦИРКОНИЕВИ СПЛАВИ, ПОСРЕДСТВОМ МЕТОДИ НА ИНТЕНЗИВНА ПЛАСТИЧНА ДЕФОРМАЦИЯ

Научна област:

5	Технически науки
шифър	наименование

Професионално направление:

5.6	Материали и материалознание
шифър	наименование

Научна специалност:

Материалознание и технология на машиностроителните материали
--

Изготвил рецензията:

проф.	д-р	Емил	Георгиев	Михайлов	ХТМУ
акад. дл.	научна степен	име	презиме	фамилия	месторабота

1. Окомплектоване на предоставените документи:

А) Дисертационният труд и документите по конкурса съответстват напълно на Правилника	4 точки	X
Б) Документите са окомплектовани, но не съответстват напълно на изискванията на Правилника	2 точки	
В) Документите не са окомплектовани съгласно изискванията на Правилника	0 точки	
		със знака "X" се отбелязва един от посочените отговори

Задължително се описват липсващите документи и нарушените стандарти, ако е отбелязан отг. В

2. Удовлетворяване на минималните изисквания, съгласно Правилника:

А) Кандидатът удовлетворява минималните изисквания	20 точки	X
Б) Кандидатът не удовлетворява минималните изисквания	0 точки	
		със знака "X" се отбелязва един от посочените отговори

Задължително се попълва, ако е отбелязан отг. Б. Анализира се публикационната активност на кандидата. Анализира се отзвукът на постигнатите резултати (цитирания)

3. Актуалност на темата на дисертационния труд:

А) Темата е актуална и нова (не са известни резултати по темата от други автори)	8 точки	
Б) Темата е актуална и са известни резултати по темата от други автори	6 точки	X
В) Темата не е актуална, но са известни резултати на други автори	2 точки	
Г) Темата не е актуална и не са известни резултати на други автори по темата	1 точка	
Д) Темата не отговаря на нивото на дисертационен труд	0 точки	
		със знака "X" се отбелязва един от посочените отговори

Оценката за актуалността на дисертационния труд се аргументира задължително
Едно от основните приложения на циркониевите сплави е в ядрените реактори, където горивните пръти са облечени с циркониев сплав, за да се предотврати отделянето на радиоактивни материали в охлаждащата течност. Радиално-срязващото валцуване съчетава интензивното раздробяване на зърното с възможността за обработване на дълги заготовки. Това прави метода перспективен за производството на обвивки за топлоотделящите елементи в ядрените реактори. При този метод на интензивна пластична деформация се формира сложно напрегнато-деформационно състояние в зоната на деформация на метала, което спомага за създаването на градиентна ултрафинозърнеста структура и благоприятна текстура. Ето защо, изследването на приложението на радиално-срязващото валцуване към циркониєви сплави за формиране на ултрафинозърнеста структура и подобряване на механичните свойства, текстурата и радиационната устойчивост, е актуална научна и приложна задача, отговаряща на изискванията на съвременната ядрена енергетика.

4. Познаване на проблемите, обект на изследване в дисертационния труд:

А) Докторантът познава детайлно постигнатото от други автори по темата на дисертацията	8 точки	X
--	---------	---

Б) Докторантът познава частично постигнатите резултати по темата на дисертацията	4 точки	
В) Докторантът няма предварителни знания за състоянието на проблемите в дисертацията	0 точки	
		със знака "X" се отбелязва един от посочените отговори

Задължително се аргументира оценката, ако е отбелязан отг. В

5. Тип на изследванията:

А) Теоретични	4 точки	
Б) Приложни	4 точки	
В) Теоретични с елементи на приложения	4 точки	X
Г) Не отговарят на нивото на дисертационен труд	0 точки	
		със знака "X" се отбелязва един от посочените отговори

Задължително се аргументира нивото на изследванията, ако е отбелязан отг. Г

6. Цели на изследванията:

А) Реалистични и представляват научен и/или приложен интерес	8 точки	X
Б) Реалистични, но не представляват научен и/или приложен интерес	3 точки	
В) Недостижими (нереалистични)	0 точки	
		със знака "X" се отбелязва един от посочените отговори

Задължително се отбелязват целите. Аргументира се типа на поставените цели

Поставените в дисертационния труд цели могат да бъдат обобщени както следва:

- анализирани на съвременните изисквания към конструкционните материали, използвани за активните зони на ядрените реактори, идентифициране на ключовите механизми на деградация при радиационни условия и целесъобразността от използването на ултрафинозърнести (УФЗ) структури на базата на циркониеви сплави;
- обобщаване и класифициране на съществуващите методи за получаване на УФЗ-структура с оценяване на тяхната приложимост към циркониеви сплави, като се

<p>вземат предвид мащабируемостта, геометрията на продукта и условията на работа на реактора;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ разработване на технологична схема за радиално-срязващо валцуване на циркониева сплав, при използване на метода на крайните елементи за моделиране на процеса на валцуване, изследване на особеностите и закономерностите на напрегнато-деформационното състояние на метала по време на валцуване и оптимизиране на геометричните и технологичните параметри на валцуването; ➤ реализиране на серия от експериментални валцувания на стан за радиално-срязващо валцуване с цел получаването на валцувани пръти (заготовки) с различни диаметри за анализ и оценка на промяната на микроструктурата на сплавта; ➤ изследване еволюцията на микроструктурата по напречното сечение на получените чрез радиално-срязващо валцуване пръти (заготовки), използвайки методите на трансмисионната и сканиращата електронна микроскопия, включително EBSD-картографиране, както и анализиране на характеристиките на текстурата ➤ изследване фината структура на образците, получени чрез радиално-срязващо валцуване чрез електронен микроскоп с висока резолюция; ➤ получаване на експериментални данни за механичните свойства получените пръти от изследваната циркониева сплав чрез радиално-срязващо валцуване; ➤ симулиране на условията на увреждане от фрагменти от делене в активните зони на реактора чрез облъчване на проби от изследваната циркониева сплав с тежки йони. <p>Поставените цели и методите за тяхното постигане са свързани с експериментални и теоретични научни изследвания, с цел по-добро познаване във фундаментален аспект, усвояване и приложение на циркониевите сплави в ядрената енергетика.</p>

7. Методи на изследванията:

А) Адекватни на изследванията и поставените цели	8 точки	X
Б) Частично подходящи, даващи възможност за постигане на част от научните цели и/или приложения	4 точки	
В) Неподходящи методи	0 точки	
		със знака "X" се отбелязва един от посочените отговори

Задължително се отбелязват методите. Аргументира се типа на използваните методи
В разработването на научно-изследователската работа са използвани различни методи, включващи експериментални изследвания, математично моделиране и обработване данни. Поставените при изследванията цели са реалистични и са постигнати с комплексното и адекватно приложение на съвременни изследователски методи. Изследванията на кандидата имат научен и научно-приложен характер и са насочени към решаване на теоретични и реални технологични проблеми.

8. Приноси на дисертационния труд:

А) С траен научен и/или приложен отзвук, представляват основа за нови направления на изследвания и приложения	20 точки	X
Б) Представляват значим научен и/или приложен интерес, завършват и/или обобщават предходни изследвания	16 точки	
В) Представляват научен и/или приложен интерес	12 точки	
Г) Липса на съществени приноси	8 точки	
Д) Липса на приноси	0 точки	

Задължително се отбелязват приносите. Аргументира се типа на постигнатите резултати

Дисертационният труд е съдържа 174 страници, включва 113 фигури и 9 таблици. Цитирани са 270 източника. В резултат на проведените изследвания са формулирани следните приноси.

Научни приноси:

1. Изследвана е възможността за успешно приложение на метода РСВ към циркониева сплав E110. Изследвани са закономерностите на формиране и еволюция на УФЗ структура и нейното влияние върху механичните свойства в получените образци. Получените данни разширяват фундаменталните представи за механизмите на формиране на зърнестата структура и текстура в циркониевите сплави при РСВ. Те са оригинални резултати, които нямат аналог в съществуващата научна литература.
2. Обосновани са физическите механизми за повишаване на якостните свойства и радиационната устойчивост при намаляване на размера на зърното до УФЗ ниво. Установено е, че високата плътност на границите на зърната допринася за формирането на устойчива структура и подобряване на комплекса от свойства на материала.

Научно-приложни приноси

Разработена и експериментално потвърдена е технология за формиране на УФЗ структура в циркониеви сплави чрез методи за интензивна пластична деформация, по-специално радиално-срязващо валцуване (PCB), с последващ анализ на структурните и експлоатационните характеристики на получения материал:

1. Създаден е модел на процеса PCB с помощта на метода на крайните елементи в програмата DEFORM-3D. Анализирано е напрегнато-деформационното състояние на заготовката от изследваната циркониева сплав E110. Определени са оптималните параметри на валцуване, включително температурата на заготовката, скоростта на въртене на валците, степента на единичните относителни деформации и коефициентът на триене. Резултатите от моделирането са послужили като основа за проектиране на експериментални технологични режими и верификация на модела.
2. Експериментално е установено, че радиално-срязващото валцуване (PCB), което притежава уникалната способност да реализира големи пластични деформации с ясно изразена срязваща компонента и вихрово течение на метала в обема на заготовката, може успешно да се използва за получаване на ултрафинозърнена структура в изследваната циркониева сплав. Такъв подход позволява да се постигнат повишени механични характеристики на получените пръти при запазване на задоволителна пластичност.
3. Детайлно е изследвана еволюцията на микроструктурата на всички етапи на радиално-срязващото валцуване (след всеки проход) по цялото напречно сечение на прътите. За анализ на структурата са приложени методи на електронна сканираща микроскопия (SEM/EBSD) и трансмисионна електронна микроскопия (TEM):
 - a. Установена е еволюцията на микроструктурата, разкрит е характерът на разпределението на зърната и техните размери, видовете граници на зърната, наличието на субструктурни елементи и текстурни особености;
 - b. Установено е, че делът на УФЗ-структура в напречното сечение на заготовката може да достигне до 35-40% от външния слой, формирайки ясна градиентна морфология, съчетаваща УФЗ-състояние в периферната зона с субмикроструктурна или рекристализирана структура в централната област.
 - c. С помощта на EBSD-анализ са получени високодетайлни карти на микроструктурата и текстурата, както и определена ориентацията на зърната и са получени параметрите на Кернс, отразяващи степента на анизотропия на материала. Установено е, че в процеса на PCB се формира предимно радиално-базирана текстура в центъра на пръта и нетипична за валцуването текстура с преобладаваща осево-базирана компонента в повърхностните слоеве.
4. Установени и оценени са механичните свойства на получените чрез PCB пръти, посредством изпитвания на статичен опън и измервания на микротвърдостта в напречното сечение на прътите:

- a. Установено е повишение на якостта на опън в сравнение с изходния материал при запазване на достатъчна пластичност.
 - b. Установена е ясна корелация между локалната микроструктура и микротвърдостта, като зоните с УФЗ-структура демонстрират най-високите стойности.
5. Сравнявайки резултатите от прилагането на равноканално ъглово пресуване (РКЪП) като референтен метод за получаване на УФЗ-структура в металите с резултатите от радиално-срязващото валцуване за получаване на циркониева сплав с УФЗ структура, е установено, че радиално-срязващото валцуване позволява да се получи структура на метала, която притежава аналогична степен на раздробяване на зърното при по-малко на брой проходи, като при това структурата притежава градиентен характер и специфична, потенциално благоприятна текстура. Освен това, РСВ притежава по-добра технологична мащабируемост.
 6. Изследвана е възможността за използване на РСВ за обработване на циркониев слитък с леярска структура. Установено е, че методът РСВ притежава способността ефективно да затваря леярските пори и микродефекти за сметка на интензифицирането на пластичното течение в обема на заготовката. Прилагането на РКЪП върху слитък с леярската структура също показва частично затваряне на дефектите, но изисква допълнителни стъпки за подготовка.
 7. Моделирано е радиационно увреждане на сплавта чрез облъчване с тежки йони на ускорителя ДЦ-60. Тази методология позволява да се възпроизведат ефекти, аналогични на увреждането от отломки от делене на ядрено гориво. Установено е, че получената циркониева сплав с УФЗ-структура запазва стабилна морфология, демонстрира умерено радиационно уякчаване, което не е съпроводено с окрежкостяване, и устойчивост на модула на Юнг, което говори за перспективността на този материал за продължителна експлоатация в реактори.
 8. Установено е влиянието на температурата върху стабилността на получената УФЗ структура и механичните свойства на материала. Установено е, че при температури до 400 °С структурата остава стабилна, а механичните свойства се запазват на високо ниво. При по-нататъшно нагряване се наблюдават признаци на рекристализация и растеж на зърното, съпроводени от намаляване на твърдостта и якостта.

Приложни приноси:

1. Експериментално е потвърдена възможността за производство на дълги детайли (пръти) с различен диаметър от циркониева сплав чрез прилагане на разработената технология на РСВ.
2. Предлаганата технология е приложима за промишлено производство на конструкционни материали с подобрени експлоатационни свойства.

9. Оценка на съответствието на автореферата с дисертационния труд:

А) Пълно съответствие	4 точки	X
Б) Съответствие в основните части	2 точки	
В) Липса на съответствие в основните части	0 точки	
		със знака "X" се отбелязва един от посочените отговори

Задължително се обосновава оценката, ако е отбелязан отг. В

10. Участие на докторанта при постигане на резултатите в дисертационния труд:

А) Докторантът има поне равностойно участие	8 точки	X
Б) Докторантът има второстепенно участие	5 точки	
В) Участието на докторанта е незабележимо	0 точки	

		със знака "X" се отбелязва един от посочените отговори
--	--	--

Задължително се представят критичните бележки, ако е отбелязан един от отг. Б или отг. В

11. Критични бележки:

А) Липса на критични бележки	8 точки	X
Б) Критични бележки, които имат технически характер	7 точки	
В) Критични бележки, които частично биха подобрили постигнатите резултати	4 точки	
Г) Съществени критични бележки	0 точки	
		със знака "X" се отбелязва един от посочените отговори

Задължително се представят критичните бележки, ако е отбелязан един от отг. В или отг. Г

12. Заключение

А) Оценката за дисертационния труд е ПОЛОЖИТЕЛНА	Оценката се поставя при общ точков актив от най-малко 65 точки	X
Б) Оценката за дисертационния труд е ОТРИЦАТЕЛНА	Оценката се поставя при общ точков актив под 65 точки	
		със знака "X" се отбелязва един от посочените отговори

<p>Попълва се при желание на рецензента</p> <p>На база на анализа на дисертационния труд, извършените изследвания, публикациите и постигнатите резултати и във връзка с това, че кандидатът е изпълнил минималните изисквания на Закона за РАСРБ, ПНСЗАД и ППНСЗАД на ХТМУ за придобиване на образователната и научна степен „Доктор”, давам положителна оценка за дейността му и си позволявам да предложа на уважаемото научно жури да приеме и оцени положително, дисертационния труд, публикациите и получените резултати и да присъди на инж. Никита Александрович Лутченко научна степен „Доктор”, по научна специалност "Материалознание и технология на машиностроителните материали", професионално направление 5.6. Материали и материалознание, област на висше образование 5. Технически науки.</p>

12.02.2026	Изготвил рецензията:	
дата	Емил Георгиев Михайлов	подпис