

РЕЦЕНЗИЯ

от доц. д-р инж. Борис Стоилов Стефанов

върху дисертационния труд на тема:

„Изследване на преносни процеси във въртящи се пещи“

с автор инж. Илиян Стойков Митов,

за придобиване на образователната и научна степен

„доктор“

по научната специалност 5.9. Металургия

(Металургична топлотехника)

1. Кратки биографични данни и характеристика на научните интереси на дисертанта

Инж. Илиян Стойков Митов е роден на 13.01.1984 г. в София. Средното си образование получава в техникум по металургия. Завършва последователно бакалавърска и магистърска степен на обучение в ХТМУ, а от 2008 год. е редовен докторант в катедра „Физична металургия и топлинни агрегати“. През периода на следването си е бил на специализации в Швеция и Германия. Владее английски и немски език.

2. Преглед на дисертационния труд и анализ на резултатите

В тръбните въртящи се пещи се осъществява високотемпературна термична обработка на най-разнообразни материали в непрекъснат технологичен процес. Те се използват широко в химичната, металургичната, силикатната и фармацевтичната промишленост. В българската металургия най-честото им приложение е за преработка на цинкови кекове във велц-процес, но също и за термично третиране на други насипни материали, например при редукция на оксидни руди, калцинация на варовик, сушене на сулфидна медна шихта, почистване на метални стружки от машинно масло и др. Тези агрегати намират приложение и за изгаряне на остатъчни материали от различни промишлени инсталации или на битови отпадъци.

При температури над 1000°C и частици с едрина под 30 mm въртящите се пещи се оказват най-доброто и често единственото решение за осъществяване на редица процеси. В зависимост от предназначението им, температурата на газовете в тях може да бъде по-висока от 1550°C,

както е при обработката на клинкера в циментовото производство, а горната граница на този параметър достига 2000°C. Необходимата за целта топлина се набавя най-често чрез изгаряне на естествени енергоизточници или на получени от тях горива. Тази потребна енергия се пренася към слоя от насипен материал и към вътрешната повърхност на печната стена чрез конвекция и излъчване. Поради това характеристиките на горелките и създаваните от тях струи и факли оказват много съществено влияние върху цялостната работа на съоръженията.

Във въртящите се пещи се получава сложно взаимодействие между топлообмена, движението на материала през цилиндричното работно пространство, масопренасянето между газовата и твърдата фаза и протичащите химични реакции. Всеки от тези преносни процеси има собствена специфика и оказва значимо влияние върху останалите, но има основания да се приеме, че топлообменът има приоритет пред останалите явления, тъй като в много случаи той определя производителността на въртящата се пещ и е пряко свързан с характеристиките на факела.

На фона на този кратък преглед на проблематиката около тръбните въртящи се пещи може да се направи изводът, че темата на дисертационния труд на инж. Митов е много актуална заради разнообразните технологични възможности на тези агрегати и тяхната недостатъчна степен на изученост към настоящия момент.

В глава 1 са разгледани съвременните въртящи се пещи, използвани в практиката. Направена е класификацията им по конструктивен признак и са анализирани основните характеристики и възможностите за приложение на различните варианти за тяхното оформление. Представени са и нерешени проблеми, свързани с проектирането и експлоатацията на тези агрегати. Въз основа на този преглед е посочена целта на дисертационната работа – да се установи влиянието на основните експлоатационни параметри на тръбни въртящи се пещи върху характера на движението на частиците и на топлопреносните процеси в агрегатите. Основните етапи при нейното постигане и задачите, през чието решаване трябва да се премине, са следните:

- ✓ създаване и проверка на математичен модел, описващ отклоненията на падащите частици от цилиндричния корпус на пещта;
- ✓ подготовка и комплектоване на опитна инсталация за изследване на движението на материала, и топлообмена в директно нагрявана тръбна въртяща се пещ, включително конструиране, надзор при изработката и монтиране на отделни нейни елементи;
- ✓ пускане в експлоатация на система за измерване на температурата в работното пространство и осъществяване на опити в празна пещ за установяване на температурното поле в цилиндричния ѝ корпус;
- ✓ създаване и проверка на математичен модел за определяне на дебелината на целия и на активния слой от обработван материал;

✓ генериране на алгоритъм за обработка на експериментални данни от изучаването на контактния топлообмен във външно нагривани въртящи се агрегати с цилиндрична форма;

✓ подготовка, комплектоване, пускане в експлоатация и настройка на опитна инсталация за изследване на контактния топлообмен в индиректно нагривана тръбна въртяща се пещ;

✓ установяване на изменението на коефициента на топлоотдаване от вътрешната повърхност на експерименталния цилиндър към обработваните в него материали при различни скорости на въртене на корпуса му, степени на запълване на неговото работно пространство и диаметри на частиците;

✓ сравнение на придобитите данни от изследванията на контактния топлообмен във въртящи се пещи с резултати, получени по известни от литературата математични модели, с оглед формулирането на изводи за функционалната пригодност и точността на създадената опитна инсталация, а също и за адекватността на използваната изчислителна процедура;

✓ опитно определяне и анализиране на температурните профили в работното пространство на въртящия се цилиндър;

✓ изследване на зависимостта от изброените по-горе фактори на коефициента на топлоотдаване между стената на агрегата и разположения в него слой от частици при най-неблагоприятните от гледна точка на преносните процеси режими на преместване на материала, които могат да се появят при реални производствени условия, като хлътващото и плъзгащото движение;

✓ установяване доколко за описанието на контактния топлообмен при такива експлоатационни режими е допустимо използването на съществуващите математични модели, изведени за търкалящо движение;

✓ формулиране на конкретни и общи изводи, констатации, препоръки и перспективи за бъдещи изследвания на преносните процеси във въртящи се пещи.

Глава 2 разглежда видовете движения на слоя във въртящи се пещи, различаващи се според нарастващата скорост на въртене на агрегата, а оттам – и на стойността на ротационния критерий на Фруд. Те са следните:

- плъзгащо движение;
- хлътващо движение;
- търкалящо движение;
- каскадно движение;
- катарактно движение;
- центрофугиращо движение.

Механизмът на търкалящото движение е застъпен по-изчерпателно, защото то осигурява най-добро смесване на частиците и предоставя оптимални условия за топлообмен както между обработвания материал и

горещия газ, така и от стената на пещта към контактуващите с нея частици.

Глава 3 е посветена на създадения от инж. Митов математичен модел за изчисляване на отклоненията на падащите частици от въртящи се пещи. Алгоритъмът включва описание на пътя на частицата в работното пространство и определяне на нейната траектория, както и отклонението ѝ при падането в зависимост от скоростта на въртене на цилиндъра и ъгъла, под който частицата го напуска. Осъществена е и проверка на модела, показваща правилното отразяване на физичните процеси от него.

В глава 4 от дисертационния труд първоначално е представен извод на друг математичен модел, създаден на базата на закономерностите при движението на частиците в цилиндрична въртяща се пещ. Той позволява определяне на общата дебелина на слоя от обработван материал и на активната част от него, заемаща зоната непосредствено под свободната му повърхност. След това е описана подробно опитната инсталация за изследване на движението на материала, и топлообмена в директно нагривана тръбна въртяща се пещ. Тя се намира в университета „Ото фон Герике“ в гр. Магдебург, Германия. Конструирването, надзора при изработката и интегрирането към нея на отделни елементи са личен принос на докторанта през време на неговия изследователски престой в Института по механика на флуидите и термодинамика на този университет. В резултат на проведените опити без материал в пилотния агрегат е установено равномерно разпределение на наблюдаваните температури в достатъчен брой негови напречни сечения, което е доказателство както за правилното разполагане на горелката, така и за доброто функциониране на системата за измерване на температурите в отделните части на цилиндричния корпус. Сравнението между опитните резултати и предсказаните стойности по съставения модел показва добро съгласуване между тях, което потвърждава както правилната физична основа на математичния апарат, така и точността на създадения стенд. Това прави генерирания алгоритъм много полезен за осъществяване на различни фундаментални и научно-приложни изследвания.

В следващата глава са систематизирани механизмите за пренасяне на топлина в двата основни вида въртящи се пещи от гледна точка на начина на нагриването им. Направен е критичен преглед на съществуващите аналитични методи за описание на топлообмена в тези инсталации. Обоснована е необходимостта от поставяне на акцент върху тези с индиректно нагриване.

Описан е създаденият от автора алгоритъм за обработка на експериментални данни от изучаването на контактния топлообмен във външно нагривани въртящи се пещи с цилиндрична форма. Той е проверен посредством сравняване на резултатите, до които води, с тези, които са получени по три известни от литературата математични модела.

Представена е опитна инсталация за изследване на контактния топлообмен в индиректно нагрявана тръбна въртяща се пещ, която е изградена в споменатата вече лаборатория и е подготвена, комплектована, пусната в експлоатация и настроена с участието на автора на дисертационния труд. Тя се състои от цилиндър с вътрешен диаметър 0,6 m, дължина 0,45 m и дебелината на стената 2 mm. Нагряването е външно и се осъществява от три електрически нагревателя с мощности съответно 2,2 kW, 1 kW и 1 kW. Изложената към тях повърхност на агрегата е черна, за да поглъща колкото е възможно повече топлина, а нагревателите са разположени максимално близо до него с цел да се минимизират топлинните загуби към околната среда. Стената на цилиндъра е направена от неръждаема стомана със съдържание на хром 10 %. Нейният коефициент на топлопроводност е $14 \div 16 \text{ W/(m.K)}$. В двата края на пещта са оформени дъна от кръгли метални плочи с отвори в центъра. Те служат за инсталиране на подвижната стоманена сонда, на която са фиксирани термодвойките, а също и за зареждане на материала в, и изпразването му от вътрешността на въртящия се цилиндър.

В работата са посочени възможностите на създадения опитен стенд за провеждане на прецизни топлотехнически измервания и за изследване на влиянието на най-съществените параметри върху коефициента на топлоотдаване между стената и материала, който я покрива. По мое мнение, едно от сериозните достойнства на дисертационния труд е именно в създаването на материална база за решаване не само на поставените пред него цели, но и на широк кръг от експериментални задачи.

Глава 6 отразява резултатите от изследванията на контактния топлообмен във въртящи се пещи с индиректно нагряване при търкалящо движение на слоя, което е най-често срещано в практиката. Техният анализ позволява констатирането на важни за теорията и практиката закономерности, които са изброени по-долу.

Установено е, че с увеличаването на скоростта на въртене на агрегата се повишава коефициентът на топлоотдаване от стената му към нагрявания в него кварцов пясък. Освен това е констатирано, че колкото по-ниска е степента на запълване на пещта с материал, толкова по-силно изразена е тенденцията към нарастване на коефициента на контактен топлообмен с увеличаването на скоростта на въртене на цилиндъра. Установено е също, че получените експериментални стойности на коефициента на топлоотдаване от вътрешната повърхност на пещта към обработвания в нея кварцов пясък се съгласуват много добре с данните от изчисленията по избраните за сравнение три математични модела за предсказване на този показател. Това съвпадение е доказателство както за функционалната пригодност и точността на създадената опитна инсталация, така и за адекватността на използваната изчислителна процедура.

В глава 6 е направена и констатацията, че при нарастване на диаметъра на частиците, обработвани във въртящата се пещ, се понижава

коэффициентът на топлоотдаване от вътрешната повърхност на стената ѝ към нагряваните в нея стъклени сфери. По-нататък е доказано, че повишаването на скоростта на въртене на цилиндъра води до интензифициране на контактния топлообмен с обработваните в него материали, независимо от техните топлофизични свойства. Въз основа на сравнения на получените резултати е аргументирано твърдението, че за математичното описание на топлоотдаването от стената на агрегата към нагряваните в него частици трябва да се използват модели, отчитащи както диаметъра им, така и поръзността на слоя от тях.

В глава 7 са показани и дискутирани резултатите от изследването на контактния топлообмен в индиректно нагривани въртящи се пещи при движения на слоя, които се различават от търкалящото, а именно хлътващо и плъзгащо. Въз основа на тях е установено, че използването на аналитични формули за описание на коефициента на топлоотдаване от вътрешната повърхност на експерименталния цилиндър към обработвания в него материал, когато движението на частиците не съвпада с това, при което са създадени съответните методики, може да доведе до съществени неточности в крайните резултати.

Определена е средната относителна грешка между опитни данни, получени при хлътващо и плъзгащо движение на слоя във външно нагривана въртяща се пещ, и изчислени стойности по споменатите три математични модела за предсказване на коефициента на контактен топлообмен между стената на цилиндричното работно пространство и обработваните в него материали, изведени за търкалящо движение. В същата глава е предложен и приблизителен метод за оценка на очакваните коефициенти на топлоотдаване при хлътващо и плъзгащо движение, като изчислените резултати за тях по някой от предложените математични модели за търкалящо движение се коригират със съответните средни относителни грешки между експерименталните и аналитично определените стойности на тези показатели. По този начин се разширяват значително възможностите да се използват известните от литературата модели за описание на контактния топлообмен в индиректно нагривани въртящи се пещи за проектиране и оценка на функционирането на агрегати с по-малко изучените режими на движение на слоя в тях.

В глава 8 първоначално са обобщени представените резултати и направените на тяхна база изводи. Те отразяват добре целта на работата и постигнатото в отделните ѝ части.

В края на тази заключителна част са формулирани перспективите за бъдещи изследвания на преносните процеси във въртящи се пещи, които могат да бъдат осъществени както в опитните стендове, представени в настоящия дисертационен труд и използвани за осъществяването на предвидените дейности в рамките на неговите цели, така и в проекти с по-широк обхват. Положително впечатление прави стремежът на автора да

предложи възможности за по-нататъшни изследвания и надграждане на постигнатите от него резултати.

Приложеното в края на работата доста подробно резюме на английски език заслужава да бъде посочено като добър подход за разширяване на кръга на лицата, които могат да се информират за съдържанието ѝ и евентуално да потърсят контакт с нейния автор за бъдещо научно сътрудничество.

3. Оценка на съответствието между автореферата и дисертационния труд

Авторефератът отговаря напълно по съдържание на работата на инж. Митов. Написан е стегнато, дава само най-нужната информация, за да подготви читателя за правилно възприемане на извършеното от автора на дисертацията и за тълкуване на постигнатите резултати от неговите изследвания.

4. Характеристика и оценка на приносите в дисертационния труд

Работата завършва с 4 научни, 3 научно-приложни и 3 приложни приноса. Те също както и изводите отразяват обективно постигнатото от инж. Митов, формулирани са добре и са разпределени правилно в трите категории. Би могло да се постигне известно скъсяване на някои от тях с цел да се открие повече най-същественото от изказаните твърдения (например на четвъртия научен и на третия научно-приложен принос).

5. Мнение за публикациите инж. Митов по темата на дисертационния труд

Представените публикации към дисертационната работа се състоят от три статии в българско специализирано научно издание и един доклад пред научна конференция, проведена в ХТМУ. Това количество е достатъчно от гледна точка на изискванията на Правилника за придобиване на научни степени и заемане на академични длъжности в ХТМУ. Имайки предвид високото ниво на използваната експериментална и изчислителна техника, с която е работил инж. Митов, както и значимостта на постигнатите резултати, е добре да бъдат реализирани и публикации в чуждестранни специализирани научни списания с импакт-фактор. Както стана ясно от разговор с дисертанта, такива са подготвени и са в процес на рецензиране, затова му препоръчам да прояви нужната настойчивост тези статии да стигнат до успешно отпечатване.

6. Критични бележки и коментари

Дисертационният труд би придобил още по-представителен вид и неговите положителни страни биха се открили по-ясно, ако в него отсъстваха изброените по-долу слабости:

1) Част от снимките на тръбни въртящи се пещи, показани в глава 1 на дисертационната работа, не са придружени с достатъчни обяснения.

2) Смятам за не особено уместно разширяването на кръга на принципно поставените въпроси с горивните процеси във въртящите се пещи, което е направено в т. 1.2.3.

3) Не се прави разлика между понятията „уравнение“, „израз“ и „зависимост“.

4) Публикациите по дисертацията имат за цел да представят на по-широк кръг читатели по-важните части от нея, поради което не би трябвало да се цитират в самата работа.

5) Към автора на дисертацията мога да отправя препоръката да се запознае по-подробно с приложението на тръбните въртящи се пещи за преработка на цинкови кекове във велц-процес, което е особено актуално за българската металургия.

Независимо от направените критични бележки и коментари може да се твърди, че като цяло работата е задълбочено оформена като съдържание и е с много добро техническо изпълнение. Фигурите са прегледни и с високо качество, което подпомага възприемането на постигнатите резултати.

7. Лични впечатления от дисертанта

Инж. Митов се обучава в металургичния факултет на ХТМУ в продължение на 10 години. През това време той прояви трудолюбие, отговорно отношение към всяка поставена му задача, настойчивост, желание за развитие и усъвършенстване. Това са качества, с които дисертантът заслужи симпатиите и уважението на своите преподаватели и колеги.

Личните ми впечатления от Илиян Митов при обучението му като магистър и докторант са много добри. Заслужава да се отбележи, че неговата дисертация е завършена в рамките на тригодишния срок от зачисляването му като редовен докторант, т. е. като се отчетат и двете прекъсвания с обща продължителност от 13 месеца, инж. Митов стигна до етапа на защита на дисертацията си за 4 години. Това, както и фактът, че той придобива образователната и научна степен „доктор“ на 28-годишна възраст, може да се изтъкне като добър пример за изпълнение на целите на третата степен на обучение, разкриваща перспективи за

по-нататъшно развитие на лицето и носеща многократна възвръщаемост на вложените средства за неговото научно израстване.

8. Заключение

Предоставената ми за рецензиране дисертация на тема „Изследване на преносни процеси във въртящи се пещи“ с автор инж. Илиян Стойков Митов, за придобиване на образователната и научна степен „доктор“ по научната специалност 5.9. Металургия (Металургична топлотехника) представлява една актуално подбрана и добре планирана, изпълнена и написана работа. Тя притежава всички необходими качества за такъв труд. Тези преимущества на работата, както и изброените положителни страни на нейния автор инж. Илиян Митов, ми позволяват твърдя, че тя трябва да бъде подкрепена, поради което давам положителна оценка на представения дисертационен труд.

07.06.2012 год.

Изготвил рецензията:

(доц. д-р инж. Борис Стефанов)