

Рецензия

на дисертационния труд за присъждане на образователната и научна степен „ДОКТОР” по научната специалност „Металургична топлотехника”

на тема:

„Структура на факела, формиран при топене на сулфидни медни суровини в пещ „Outokumpu”

Автор: инж.. Даниела Крумова Чошнова

Рецензент: доц. д-р инж. Иван Найденов Груев

Дисертационният труд на инж. Даниела Чошнова е едно завършено теоретично-приложно изследване на съвременна технология за извличане на мед от природни суровини. Докторантката е насочила вниманието си към най – широко внедреният в практиката процес на топене на медни суровини в пещ летящо състояние – лицензионна технология на финландската фирма „Outokumpu”.

Изследването на подобен обект е свързано със значителни трудности, тъй като конструктивните особености на агрегата и технологичните му параметри при експлоатация са свързани с различни по генезис процеси и закономерности:

1. Разнообразни по състав полиметални медни концентрати;
2. „Нестандартен” спрямо класическите процеси на топене аеродинамичен режим в работното пространство на агрегата;
3. Специфичен механизъм на шлако- и щейно образуване;
4. Противоречиви и не напълно дефинирани модели свързани с масо- и топлобмен;
5. Наличие на представителен доказателствен материал за постигане на максимална автогенност на процеса на топене в летящо състояние, при максимално използване на калоричната способност на медните сулфидни концентрати.

Дисертационният труд е структуриран в 6 раздела, като в първите три глави е представено подробно литературно проучване.

В Глава 1 ОБЩИ СВЕДЕНИЯ ЗА АВТОГЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ИЗПОЛЗВАНИ ПРИ ТОПЕНЕ НА СУЛФИДНИ МЕДНИ КОНЦЕНТРАТИ е представена е ясна, реферирана информация за различните технологични варианти (класически и автогенни) за производство на мед от сулфидни концентрати, както и анализ за съответствието им с най-добри налични техники (НДНТ), съгласно референтните документи на ЕС. По-коректно е в дисертацията да се цитира референтният документ за цветната металургия от 2001 г., а не този от 2000 г.

По-прецизно заглавие на тази глава е „Технологии”, т. к. се разглеждат не само автогенните методи. В обзорната част е отбелязано че „...резервите на мед възлизат на 10 000 000 т ...” без да е уточнено за кой резерв става дума.

На стр. 5 от дисертационния труд е констатирано, че при автогенното топене – основните реакции са тези на окисление на металните сулфиди и окисление на

елементарната сяра. Това предполага висока термодинамична вероятност и кинетика на протичане на дисоциационни реакции на висшите сулфиди на желязото и медта при наличие на относително висок потенциал на газовата фаза. Има доказателствен материал за възможността за пряко окисление, например на пирит, преди неговата дисоциация. Тези закономерности все още не са еднозначно доказани.

В Глава 2 АЕРОДИНАМИЧЕН АНАЛИЗ НА РЕАКЦИОННОТО ПРОСТРАНСТВО НА ФАКЕЛНАТА ТОПИЛНА ПЕЩ ОУТОКУМРУ е направена е убедителна корелация между данните от проучените източници и са разкрити причинно-следствени връзки на зависимостите между характеристиката на шихтовъздушния факел (специфика на движението на хетерогенния поток, формирането на струите в реакционната шахта) и протичащите в него химични взаимодействия, при отчитане на броя и конфигурацията на шихтовите горелки. Професионално са коментирани теоретичните постановки, описващи тримерни турбулентни потоци, както и особеностите на топло- и масообменните процеси в реакционната шахта на факелната пещ.

В Глава 3 МЕТОДИ ЗА ТЕОРЕТИЧНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ФАКЕЛА ОПИСАНИЕ НА МОДЕЛНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ. е представено описание на моделни изследвания – математически, лабораторни с физични модели, изследвания на реално експлоатирани пилотни, полупромишлени и промишлени инсталации. Направен е обстоен анализ на литературни данни относно компютърно симулиране на аеродинамиката в реакционното пространство на факелната пещ.

В заключението към литературния обзор са направени убедителни, аргументирани и критични изводи и констатации, които могат да се реферират както следва:

1. Технологичният факел, формиран при топенето в летящо състояние е със сложна нееднородна структура и аеродинамични характеристики, т. е. изучаването и анализирането му са трудна комплексна задача.

2. Закономерностите характеризиращи движението на дисперсни потоци в струи с висока турбулентност се определят главно от процесите на смесване при контакт на турбулентните струи и се лимитират в значителна степен от броя на горелките. Формоизменението и смесването на струите при това взаимодействие са тясно свързани явления. Смесването на потоците протича съвместно с горенето на частиците и описанието му за реален обект е сложна изследователска задача.

3. От прегледа на теоретичните изследвания на технологичния факел, включващ физично и математично моделиране и компютърно симулиране на хидродинамичните, физикохимичните и топлофизичните процеси са направени обобщаващи заключения.

Целенасоченият литературен анализ и направените критични интерпретации от докторантката в теоретичен и приложен аспект са предоставили възможността да се генерират нови идеи и да се аргументират основните задачи на дисертационния труд.

Въз основа на изводите от литературното проучване и отличното познаване на проблемите свързани с управление, оптимизация и усъвършенстване на топенето в летящо състояние, ясно е дефинирано основното направление,

обоснована е необходимостта от провеждане на изследванията, поставени са целесъобразни цели и задачи на дисертационния труд.

Основно направление в дисертационната работа е провеждането на изследвания свързани с определяне на скоростното поле в реакционната шахта на пещта за факелно топене със задълбочено изследване на рецикулацията на потока, проблем, за който все още данните в техническата литература са ограничени и тяхната интерпретация има дискуссионен характер.

Литературния обзор и изводите към него, както и обосновката за необходимостта от провеждане на изследванията дефинирани от докторантката, доказват, че аналитичното описание и експерименталното изследване на движението на потока в реална пещ е свързано с трудности поради сложния характер на процесите протичащи в реагиращата среда и трябва да се търсят други, комплексни методи за идентифициране на различните по генезис и същност процеси.

Прецизирани са и целите на дисертационния труд

1. Изследване структурата на факела, формиран в реакционната шахта на факелна топилна пещ Outokumpu.

2. Определяне на местоположението на рецикулационните зони и изследване влиянието им върху на факела.

В самостоятелен раздел подробно са описани и

Задачите на дисертационния труд

1. Проучване на изследванията свързани с изучаване на аеродинамиката в реакционния обем на факелната топилна пещ Outokumpu.

2. Конструирание на лабораторна инсталация, представляваща физичен модел на реакционната шахта на пещта.

3. Установяване на условията за формиране на рецикулация в обема на лабораторната инсталация.

4. Аналитично изследване на структурата на факела, формиран в пещ с една и пещ с четири шихтови горелки.

5. Експериментално определяне на скоростното поле в обема на физичния модел.

6. Създаване на симулационна процедура за визуализация на скоростното поле в лабораторната инсталация.

7. Създаване на симулационна процедура, включваща горене на сулфидна частица за визуализация на скоростното поле в обема на реална пещ.

Втората част на дисертационния труд **ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ЧАСТ** е подчинена на направлението, целите и задачите на дисертационния труд.

За целта е прието комбинирание на лабораторния експеримент върху физичен модел на шихтова горелка и реакционна шахта и компютърно симулиране на движението на потока, като по този начин става възможно идентифицирането на разположението на рециркулиращите обеми в реакционната шахта.

В Глава IV е регламентирана постановката на изследването, респ.:

- Обекта на изследването - технологичен факел формиран в реакционна шахта на факелна топилна пещ с четири шихтови горелки, като е използван физичен модел на $\frac{1}{4}$ от реакционната шахта с модел на шихтова горелка към него.

- Моделни изследвания - върху конструираният лабораторен модел на шихтовата горелка са осъществени серия експерименти при различни обемни дебити на моделиращия флуид, съответстващи на различна производителност в реални условия.

Експерименталните данни са представени в табличен и графичен вид.

Представени са убедителни и правомерни изводи към Глава IV и по-конкретно:

1. Експерименталните данни от лабораторните изследвания с физичния модел на шихтова горелка могат да се използват за изследване на аеродинамичния режим на работа на една или четири броя горелки.

2. Получените резултати при определяне на статичното налягане по плоскостите ограждащи реакционния обем могат да доказват наличието на физически условия за формиране на рециркулационни зони.

3. Установено е неравномерно разпределение на статичното налягане в радиално направление в зоната близо до околните стени на модела и в по-ниските сечения на инсталацията, което дава основание да се предположи, че съществуват условия за формиране на рециркулационни зони.

В Глава V са представени експериментални резултати от определяне на скоростното поле в работното пространство на лабораторната инсталация. Изключително компетентно и професионално е предложена методологията на изследванията, която има своята логическа връзка и последователност. Този подход предоставя обективни и точни изводи и констатации.

Условно Глава V може да се диференцира в две основни направления:

1. Въз основа на първоначално определени основни параметри на потока е направен аеродинамичен анализ при изтичане на една и четири струи, съответстващи на броя на горелките в реакционната шахта на пещта Outokumpu и аналитично е определено разположението на рециркулационните зони. Опитните данни получени при измерване на динамичното налягане в инсталацията са послужили като достатъчно условие да се анализират резултатите за горелка, разположена централно спрямо изходящия отвор и горелка, разположена странично спрямо изходящия отвор на инсталацията.

2. Получаване на опитни данни и обработката им по предложен от авторката метод с цел идентифициране и визуализация на скоростния профил за всяко сечение в лабораторната инсталация. Предложеният подход може да намери широко приложение при илюстрация на скоростен профил в подобни системи Много положителен атестат на работата е компютърното симулиране на движението на моделиращия флуид в обема на лабораторната инсталация. Създадена е компютърна симулационна процедура в средата Ansys 12.0 Workbench CFX. Разпределението на скоростта на въздушния поток е показано в аксиално и в радиално направление. Получените резултати отговарят на очакваната тенденция за развитието на струята в лабораторната инсталация. Предсказаното скоростно разпределение със симулацията съвпада с резултатите получени при лабораторния експеримент.

За визуализация на движението на потока във физичния модел е използвана средата Ansys 5.5.

В текстовата част на дисертацията в този раздел се оперира с понятието „калибър”, което не е означено на илюстрационните (графични) фигури или в изложението.

В първоначалната редакция на дисертацията, представена пред научното звено, изводите по Глава V бяха много подробни и обстоятелствени. Докторантката е отчела направените препоръки и е систематизирала, обобщила и конкретизирала изводите в този раздел. Адмирации от научна и приложна гледна точка заслужават:

1. Представеният анализ на аеродинамичните параметри по височина на реакционната шахта и предложените хипотези за ситуирането на рециркулиращите обеми в реакционната шахта на пещ работеща с една и четири шихтови горелки, както и установените закономерности.

2. Формулираните хипотези за характера на рециркулационните зони в реакционната шахта на реалната пещ.

3. Представеният подход за обработване на експериментални резултати и изобразяване на скоростен профил, който позволява с голяма точност да се представи скоростното поле в различни сечения.

4. Симулираното движение на потока в лабораторната инсталация и полученото добро сходство между резултатите от лабораторния експеримент и компютърната симулация.

Определен принос на дисертационния труд са резултатите получени в последния раздел на дисертацията (Глава VI). Представен е модел, включващ компютърно симулиране на движението на потока в реакционната шахта на пещта Outokumpu, при отчитане спецификата на окисляване на сулфидна шихта. Обоснован е избора на този подход с цел проверка на изказаните хипотези и направените анализи при лабораторното изследване.

За изследването е използван софтуерен продукт Ansys CFX – 10, който е сравнително нов продукт за симулиране на горивни процеси. Успешно се прилага за изследване на траекторията на частиците, скоростното поле и други параметри на движението. Предлага ефективни инструменти, чрез които се анализират ламинарни и турбулентни горивни процеси и реакции включващи газообразни, течни и твърди вещества. Еднакво подходящ е за неконтролирано горене (взрив) и контролирано горене с проследяване на химичната реакция. В софтуерния пакет са включени над петдесет горивни реакции и обширна база данни. Имитирано е горене на халкопирит.

Обработката, анализа и интерпретацията на експерименталните данни от предходните раздели на дисертацията, както и ползването на резултати и информация от специализираната литература, изисква висока компететност и познаване на закономерностите на комплекс от теоретични познания в областта на химичната кинетика, термодинамиката, преносните процеси, моделирането и не на последно място на специфичните особености на автогенните факелни процеси.

Съдържанието, изложението и анализа на получените резултати представени в Глава VI илюстрират дълбокото познаване на теорията на процесите от докторантката.

В реферирано, ясно, точно текстово изложение и целево цитиране на математически уравнения, е представена необходимата информация относно:

- Моделирането на процесите в пирометалургични агрегати, и необходимостта от познаването за редица общи явления, основаващи се на аналогията на преноса на импулс, маса и топлина, както и на основните закони за съхранението на материята и енергията. Убедително е доказано, че при автогенното топене, в условията на формиран многокомпонентен, многофазен турбулентен поток времето на престой на частиците в реакционното пространство зависи от посоката на движението им в пещта и от химичните взаимодействия свързани с промяна на тяхната маса (обем). За идентифициране параметрите на частиците (разнородни по състав, плътност и гранулометрия) дисертантката е съавтор на методика за определяне на минералните фази в шихтата, на базата на зададен елементен състав на изходната суровина. Тази методика намира приложение за предварителни изчисления при създаването на конкретни модели.
- Спецификата на факелното топене по отношение протичането на различни физико-химични взаимодействия (окисление, редукция, дисоциация) и фазови преходи.
- Затрудненията при симулацията на топлообмена между частицата и газовата фаза в условията на факелното топене, при наличие на интензивно екзотермично окисляване на сулфидната шихта

Въз основа на анализа на данните (собствени и чужди) в Глава VI е направен обоснован избор на елиминирани параметри, свързани с опростяване на симулационната процедура:

1. Отчитайки взаимносвързаните процеси на шлако- и щейнообразуване в топилните агрегати за получаване на мед и сложните закономерности управляващи генерирането, състава, структурата и ликвацията, докторантката правомерно игнорира шлакообразуването, т. к. включването в модела би затруднило изключително много изчислителните процедури и не е изключено да «деформира» крайните резултати и последващите изводи.

2. Пренебрегнат е топлообмена при взаимодействието между частицата и стената на реактора и при сблъсъка между частиците, т. к. има доказателствен материал в литературата за теоретичните закономерности на тези взаимодействия.

3. Не са отчетени съпровождащите процеси свързани с преноса на топлина при наличие на концентрационен градиент и преноса на маса при наличие на градиент на температурата (термодифузия). По литературни данни тези ефекти се пренебрегват при моделиране на турбулентни потоци с предварително смесване.

В изложението на дисертацията в Глава VI е представена подробна информация за избора на модели (хидродинамичен, турбулентен, радиационен, горивен, модел на граничния слой), както и за условията на еднозначност.

Изключително професионално и убедително е рефериран анализа на резултатите от симулирането на скоростното поле на изход от горелките, в аксиално направление, в радиално направление, както и този относно разпределението на температурното поле и масовия дял на продуктите от горенето.

Чрез синтез на основни закономерности (уравнението на Арениус), използвани данни от литературни източници и представителни програмни продукти (*HSC Chemistry 4.0*) докторантката е получила правомерни резултати и е

направила обосновани изводи. Използването на описаните инструменти показва много добрата подготовка и ерудиция на авторката - да използва различни източници за извеждане на сложни зависимости и закономерности.

Получените резултати и визуализираното скоростно поле са доказателство за сложната аеродинамична ситуация в реакционната шахта и могат да се ползват за проверка на установени хипотези при аеродинамичния анализ на реакционното пространство на факелна пещ и проведените експерименти в лабораторни условия.

Изводите към Глава VI са обобщени в 7 пункта, като една част от тях имат потвърждаващ характер:

- Резултатите от компютърната симулация са адекватни на тези от експеримента върху физичния модел, по отношение на разположението на зоните с рецикулация и до известна степен по отношение на тяхното влияние върху структурата на факела. Постигнатото сходство отговаря на закономерностите, характеризиращи движението на струи с висока турбулентност описани в литературата.
- Разпределението на генерираните продукти от горенето е функция на рецикулацията в подсводовото пространство, където отсъства свободен кислород, а образуването на фаялит започва в по-горните нива на реакционната шахта.
- Дефинираните при анализа на резултатите от лабораторния експеримент хипотези са правомерни по представените конкретни доказателствени аргументи.

Втората „група” изводи могат да се оценят като нови доказателства:

1. Единственият топлинен източник в горната част на реактора са рециркулиращите потоци, които пренасят топлина чрез конвекция и радиация при смесването му с потока на вход в шахтата.

2. В техническата литература влиянието на рецикулационните зони върху физикохимичните и топлофизичните процеси в реакционната зона е представено неопределено, а при представената симулация са доказани важни за практиката факти, а именно:

- ✓ една от основните роли на рециркулиращите обеми е, че спомагат за по-бързото запалване на сулфидните частици;
- ✓ контактът на постоянно циркулиращия поток с околните стени и свода на реакционната шахта увеличава изнosoустойчивостта на зидарията, спомага за образуването на налепи, а контактът със стопилката увеличава взаимното разтваряне на отделните компоненти в нея;
- ✓ доказано е, че т.нар. „студена зона” в подсводовото пространство на реакционната шахта практически не съществува. Считаю, че този аргумент е прекалено категоричен, нуждае се от допълнителен доказателствен материал, тъй като в специализираната литература третираща флащ топенето, тази хипотеза все още се коментира като правомерна.

3. Резултатите от изследванията в дисертационната работа предоставят възможност да се имитира горене на различен сулфиден материал, като резултатите

са подходящи за прогнозиране на влиянието на едрината и природата на шихтата върху технологичния процес.

В заключение, обосновано може да се твърди, че създадената симулационна процедура в средата Ansys CFX - 10 би могла да намери приложение в практиката за предсказване на температурното, концентрационното и скоростното поле в обема на пещта за факелно топене Outokumpu.

Оценявам високо теоретичните анализи, предложените методологични решения и получените експериментални резултати представени в Глави IV, V и VI на дисертацията.

Анализирайки комплексно резултатите получени след литературното проучване, експерименталната проверка и конструктивното проектиране мога убедено да педирам, че докторантката е направила целенасочени, обосновани и полезни за теорията и практиката обобщаващи изводи в заключителната част на дисертационния труд, както и да дефинира аргументирани научни и научно-приложни приноси.

По отношение на общите изводи ще коментирам само тези, които доказват оригинален подход при „конструиране“ на методологията на научното изследване, представляват определен интерес за практиката на флаш топенето в медната металургия и имат пряка връзка и обосновават приносите на дисертационния труд. Този подход не подценява другите констатации и заключения.

1. Въз основа на теоретичен анализ, което е доказана гаранция за правомерен подход, е конструирана и използвана лабораторна инсталация, с параметри и характеристики на физичен модел на реакционна шахта и шихтова горелка на пещта Outokumpu с размери подходящи за изследване на формираната турбулентна струя. Установени са условията за формиране на рециркулиращи потоци в обема на лабораторната инсталация, както и аеродинамичната ситуация и местоположението и ролята на рециркулиращите обеми в агрегата, при работа с една и с четири шихтови горелки. Установено е формирането на периферни и централно разположени рециркуляционни зони. Идентифицирано е влиянието на рециркуляционните зони върху технологичния процес. Получените резултати са използвани за усъвършенстване и оптимизиране на системата за управление на факелното топене на сулфидни медни концентрати.

2. Представен е нов подход за обработване на експерименталните резултати и изобразяване на скоростния профил в лабораторна инсталация,

3. Симулирано е движението на потока в лабораторната инсталация в различни работни среди на програмният продукт Ansys (Ansys Workbench CFX-12 и Ansys 5.5). Получено е добро сходство между резултатите за скоростното поле от лабораторния експеримент и компютърната симулация.

4. За аналитичното изследване на аеродинамиката на факела е изграден модел, работещ в средата Ansys CFX-10, който е адаптиран към работата на пещта за факелно топене Outokumpu. Симулирано е движението на потока чрез имитиране на горивен процес на сулфидна шихта. Траекторията на потока е в добро съответствие с направения аеродинамичен анализ. Има сходство между резултатите от компютърното симулиране и лабораторния експеримент по отношение на разположението на рециркулиращите обеми и приемливо сходство с теоретичните данни по отношение на температурното поле.

5. Създаденият модел е възможно да се приложи за имитиране на горене на различен по природа и едрина сулфиден материал, при различни режимни параметри на потока. Той позволява на базата на различни производствени ситуации да се получи информация за стойностите на пряко неизмерими величини – скоростни, температурни и др. полета.

7. Доказани са важни за практиката явления.

8. Разположението и обемът на рециркулационните зони зависи от броя на шихтовите горелки, производителността на агрегата, началната скорост, плътността на потока, съдържанието на кислород и различни фактори свързани с конструктивните особености на горелката и реакционната шахта на пещта. Ролята им за технологичния процес е обобщена и дефинирана с конкретни аргументи.

Приносите на дисертационния труд са диференцирани като научни и научно-приложни. Приемам основните резултати от дисертационния труд

Те отразяват убедително постигнатите резултати и не създават предпоставки за съмнение и неправомерност. Безспорно ще обогатят базата данни, както в чисто научен, така и в практически аспект. Голяма част от тях могат да намерят успешна практическа реализация в следващи етапи на разработка на полупромишлени и промишлени реактори.

Получените научни резултати и тяхното тълкуване, обект на дисертационния труд, са популяризирани сред научната общност. Докторатката е представила 2 бр. статии в научното списание Russian Journal of Non-Ferrous Metals и 1бр. статия в Journal of the UCTM в съавторство с научния си ръководител. Представени са още 3 бр. доклади на международни конференции , свързани с дисертационната тема. инж. Чошнова е първи автор в статиите и в 1 доклад.

Дисертационният труд е редактиран на ясен, правилен технически стил, има достоинства не само на изследователско постижение, но по конкретни критерии може да се приеме като монографично описание, полезно за широк кръг специалисти и студенти. Богато е илюстриран с графични зависимости и визуализирани изображения от експериментални и моделни изследвания.

Използвана и цитирана е богата библиография свързана с изследванията не само на автогенните топилни процеси, но и фактологични и приложими модели за изследователски цели.

Позволявам си в настоящата рецензия да отбележа и дейности на докторантката по отношение на педагогически умения, връзки с промишлеността, доказана професионална компетентност.

1. Преподавани дисциплини на студенти от ХТМУ – 11
2. Научен ръководител и консултант на 19 дипломанти- 5 магистри, 12 бакалаври и 2. следдипломни специализации.
3. Участие в 39 научно-изследователски проекта, финансирани от български промишлени предприятия, от Националния фонд “Научни изследвания” и от ХТМУ
4. Наукометрични показатели (по и извън дисертационния труд):
 - 9 бр. статии;
 - 2 бр. доклади на международни конференции;
 - 14 бр. доклади на национални конференции с международно участие;
 - 8 бр. доклади на национални конференции и постерни сесии;

- 1 ръководство за лабораторни и семинарни упражнения по металургична топлотехника- в процедура по издаване;
- 11 цитати - 2 бр. в чужди списания и 5 бр. в български списания 4бр. в монография.

Заклучение

1. Реферата на дисертационния труд отразява правомерно и пълно основните резултати, интерпретации и изводи описани в пълния текст на научно-приложното изследване проведено от докторантката.
2. Съответствие на дисертацията с изискванията по същество за дисертационния труд (чл . 10 и чл. 11) и тези от процедурен характер предвидени в чл . 13 и чл. 14 от правилника за ПНСЗД в ХТМУ.
3. Представеният ми за рецензиране дисертационен труд на тема „*Структура на факела, формиран при топене на сулфидни медни суровини в пещ „Outokumpu” с автор инж. Даниела Крумова Чошнова*“ представлява едно завършено, задълбочено и ценно за теорията и практиката на металургията, в частност на металургичната топлотехника, научно изследване. Работата е дисертабилна и съдържа необходимите елементи за оригиналност, тъй като са направени нови теоретични предположения, които са убедително доказани на практика чрез логичен задълбочен анализ на получените богати експериментални резултати. Налице са значими научни и научно-приложни приноси.

Давам положителна оценка на дисертационния труд. Докторантката инж. Даниела Крумова Чошнова е показала необходимите работоспособност и настойчивост, експериментаторско умение и аналитични способности. Тези качества, допълнени с добрата ѝ теоретична и практическа подготовка в областта на металургията и инженерни умения са допринесли за постигнатите научни резултати.

Констатациите в представената рецензия ми дават основание, с удовлетвореност и дълбоко убеждение, да препоръчам на членовете на научното жури да предложат присъждането на инж. Даниела Крумова Чошнова на образователната и научна степен „Доктор” по научната специалност „Металургична топлотехника”.

26.05.2011г.

Рецензент:

/доц. д-р инж. Иван Груев/