

СТАНОВИЩЕ

от проф. д-р инж. Емил Георгиев Михайлов

относно Дисертационния труд на инж. Иванка Стоянова Петрова, на тема:

„Повишаване на ефективността на работа на стоманоразливни кофи“

**за придобиване на образователната и научна степен „доктор“ по научна специалност 5.9
Металургия (Металургична топлотехника)**

Преглед на дисертационния труд и анализ на резултатите

Непрекъснатият характер на металургичните технологии и интензифицирането на производството увеличава рискът от повреда на огнеупорната изолация на високотемпературното оборудване по време на технологичния процес, довежда до принудително прекъсване на производството и до значителни разходи за спешна реакция. Предсказващото поддържане на технологичните съоръжения и агрегати, основаващо се на оценка на текущото им състояние удължава живота им, намалява престоите, поддържа оптималното ниво на производството, гарантира спазване на точния срок на доставка на продукцията. Приложението на тези подходи е пряко свързано с повишаването на ефективността на работа на технологичните съоръжения. Всичко това налага предприемане на мерки за намаляване на риска от възникването на подобни ситуации чрез въвеждането в производствения процес на устойчиви системи за мониторинг на състоянието на огнеупорната изолация на високотемпературните пещи и спомагателно оборудване.

Сложността на технологичните операции в металургията, условията при които протичат, размерът на индустриалното оборудване и обемът данните, които трябва да се генерират от периодичните измервания в комбинация с тези от работните параметри на процеса правят субективната оценка изключително затруднена и налага да бъдат разработвани специфични подходи и правила за провеждане на мониторинг, оценка и интерпретация на данните от инспекциите. Всичко това се обединява в работата на съвременните системи за диагностика, базирани на обработване на резултатите от различни подходи на мониторинг. Стоманоразливните кофи са основно съоръжение за реализиране на технологията на производство на непрекъснато лети блокове и тяхната устойчива работа определя ефективността на производствения процес. Темата на дисертационни труд, чиято цел е формулирана като **“Повишаване на ефективността на работа на стоманоразливни кофи чрез приложение на инфрачервена диагностика за оценяване на реалното състояние на огнеупорната изолация на стената, позволяваща реализиране на система за подпомагане вземането на решения (Decision Support System) за експлоатация и поддръжка с цел безопасно използване на техния максимален ресурс.”** е изключително актуална и има отношение към повишаване на сигурността на реализиране на производствения процес в аспектите на безопасната експлоатация, ресурсната и икономическа ефективност.

Дисертационния труд заедно със списъка на публикациите е оформен върху 170 страници, съдържа 44 фигури и 55 таблици. Цитирани са 115 източника.

В литературния обзор на дисертационния труд е направен преглед на подходите и специфичните особености за реализиране на термографските анализи. На базата на проблемите, свързани с износване и възникване на повреди в огнеупорната изолация на стоманоразливните кофи, спецификата на реалните производствени условия и при отчитане на особеностите на топлообменните процеси в стената е направен анализ на възможностите за реализиране на термографски мониторинг, в резултат на който са набелязани основните задачи, специфичните подходи и процедури, позволяващи организирането и провеждането на диагностика за оценяване на състоянието и вземане на решение за по-нататъшната експлоатация, поддръжка или ремонт.

При отчитане на особеностите на провеждането на технологичния процес и отделните етапи на работния цикъл на стоманоразливната кофа е прието за установяване на стойностите на технологичните и работни параметри, имащи отношение към конкретната тематика да бъдат изследвани резултатите, отчетени от промишлен експеримент. Изследвани са границите на изменение и честотата на стойностите на температурата на изливане на метала от електродъгова стоманодобивна пещ, температурата в началото и края на извънпещното обработване и температурата на разливане. Паралелно с това са изследвани и времената на напълване на кофата с течен метал, транспортирането и извънпещното му обработване, на постъпване на стоманоразливния стенд и непрекъснатото разливане. При отчитане на реалната организация в производството е разработен времеви график на отделните операции от работния цикъл на стоманоразливната кофа и е установен съответстващият температурен режим на метала. Поради невъзможност за провеждане на непрекъснат мониторинг на температурата на повърхността и в обема на стената на стоманоразливната кофа, за постигане на поставените задачи е разработен тримерен математичен модел, отчитащ конструктивните особености и топлофизическите характеристики на реално работещо съоръжение и промяната на нивото на метал в процеса на разливане. За реализиране на изчислителните процедури е използван метод на крайните елементи. За симулиране на топлообменните процеси е използван установения на базата на резултатите от промишления експеримент актуален температурен режим на течния метал. Проведените изследвания, разработения математичен модел и получените резултати за нестационарното поведение на повърхностната температура на стената на стоманоразливната кофа са представени в глави 3 и 4.

Глава пета е посветена на разработване на система за подпомагане вземането на решения при експлоатация на стоманоразливните кофи.

За изпълнение на поставените цели е използван разработения 3D математичен модел. Симулиран е дефект с формата на права триъгълна призма, наподобяващ дефект в резултат на нарастваща пукнатина от термични напрежения или разширяваща се фуга между тухлите на огнеупорната стена на кофата. За целта е разработен план за провеждане на пълен факторен експеримент на три нива. За реализиране на планирания експеримент са извършени 27 броя опити.

В резултат на проведено изследване с приложението на резултатите от симулационните изследвания е определено, че периодът преди зареждане на кофата на резервна позиция на стоманоразливния стенд е оптимален за измерване на повърхностната температура с цел диагностика. Определянето му е съобразено с максималната стойност на температурния контраст между максималната стойност на температурата на горещото петно и фоновата температура в бездефектната област, конструктивните особености на разположение на агрегатите в реални условия и възможността за мониторинг на цялата външна повърхност на стоманоразливната кофа.

При провеждане на корелационен анализ на резултатите от симулационното моделиране е установено, че фоновата температура, максималната температура на горещото петно температурният контраст, и параметрите на производната на температурния контраст могат да бъдат разглеждани като диагностични признаци, на базата на които да бъде проведено изследване за установяване на зависимости за оценяване на общото износване и повредата на стената на стоманоразливната кофа.

В резултат на регресионен анализ на резултатите за повърхностното температурно поле са изведени апроксимиращи зависимости между диагностичните признаци и параметрите на повредата, позволяващи на базата на измереното повърхностното температурно поле, отчетено в определения като оптимален период за мониторинг, да бъде проведена оценка на текущото състояние на стоманоразливната кофа. Изведена е апроксимираща зависимост, позволяваща

определянето на стойността на дебелината на стената на различни етапи от експлоатацията на стоманоразливната кофа като функция на измерената фонова температура на външната повърхност на стената. За постигане на висока точност на предсказване на стойностите на параметрите на локалната повреда е адаптиран и приложен мултимоделен подход, състоящ се в разделяне на параметричното пространство по отношение на остатъчната дебелина на стената пред дефекта на две части - зона на регулярните измервания и зоната на повишено внимание. Последната, обхващаща стойности на параметъра в границите между средната и критичната стойност, е разделена на четири области и апроксимиращите зависимости са изведени за всяка от тях. За всяка от областите е изведена система от две алгебрични уравнения, решаването на която позволява определяне на параметрите на локалната повреда.

Потвърдено е, че разстоянието между локалния максимум и минимум на производната на температурния контраст по вертикалната ос на горещото петно може да бъде използвана за определяне на височината на локалния дефект и е установено, че за дефекти с формата на права триъгълна призма стойностите на локалния максимум и локалния минимум могат да бъдат използвани за определяне на остатъчната дебелина на стената пред локалната повреда.

Изведени са и регресионни зависимости, позволяващи на базата на измерената максимална температура на горещото петно да бъде определяна критичната стойност на локалната повреда, при която кофата трябва да бъде извеждана от експлоатация.

За изследване на влиянието на асиметричността на формата на дефекта върху стойностите на диагностичните признаци е проведено симулационно изследване за определяне на повърхностното температурно поле за дефект с несиметрична форма. Статистическото обработване на резултатите за стойностите на диагностичните признаци за двата вида дефекти показва, че в изследвания диапазон на изменение на параметрите асиметричността във формата на дефекта не оказва съществено влияние върху стойностите на диагностичните признаци и изведените апроксимиращи зависимости за диагностика на симетричен дефект с форма на права триъгълна призма могат да бъдат прилагани и за асиметричен такъв.

За провеждане на диагностика на текущото състояние на стената на стоманоразливната кофа са разработени процедури за приложение на резултатите от термографски мониторинг и тези от визуална инспекция за определяне на стойностите на параметрите на повредата. Разработена е система от правила за класифициране на повредата и необходимите дейности за следене и оценяване на реалното състояние и вземане на решение за поддръжка и експлоатация на стоманоразливната кофа.

Описаните процедури и формулираната система от диагностични правила представляват комплексен подход за провеждане на инфрачервена диагностика, основаваща се на комбинирано приложение на резултатите от термографско измерване на повърхностната температурата, визуална оценка и приложение на апроксимиращи зависимости, включващи оценяване на текущото състояние на изолацията на стоманоразливната кофа, класифициране на повредите и вземане на решение за по-нататъшната експлоатация, поддръжка или ремонт.

За приложението на изведените апроксимиращи зависимости, разработените процедури и формулираните правила за класифициране на повредата е разработен алгоритъм за оценяване на реалното състояние на изолацията на стоманоразливната кофа и вземане на решение за нейната по-нататъшната експлоатация, поддръжка или ремонт.

Описаните правила и изграденият алгоритъм представляват система за подпомагане вземането на решения за експлоатация и поддръжка на стоманоразливните кофи с цел безопасно използване на техния максимален ресурс.

Разработените в дисертационния труд процедури и подходи представляват методика за разработване и реализиране на система за диагностика на състоянието на топлинната изолация на стоманоразливна кофа.

Разработените процедури, подходи, алгоритъм и получените в дисертационни труд резултати са от ключово значение и могат да бъдат прилагани за оптимизиране работата на общия технологичен процес и в комбинация с мощните изчислителни инструменти за обработване на резултатите от периодичния термографски мониторинг допринасят значително за намаляване на времето за оценка и вземане на обосновани решения за експлоатация.

В дисертационния труд са използвани подходите на пасивния експеримент (за изследване на параметрите на реален промишлен производствен процес), на математичното моделиране (за симулиране на топлобмени процеси, чието изследване в реални условия е изключително трудно и неефективно) и този на активния пълен факторен експеримент, а за обработване на резултатите и извеждане на апроксимиращи зависимости са използвани различни статистически процедури. Всички те са приложени правилно, а резултатите са интерпретирани коректно. Това демонстрира получените знания и умения в процеса на обучение.

Оценка на съответствието между автореферата и дисертационния труд.

Авторефератът е оформен съгласно изискванията, съдържа препоръчителните части и отразява проведените изследвания и получените резултати.

Мнение за публикациите на дисертанта по темата на дисертационния труд

По темата на дисертационния труд са представени общо 14 публикации, в по-голяма част от които инж. Иванка Петрова е на първо място като съавтор. От тях: една публикация е в реферирано и индексирано списание, три са представени в реферирани издания и една статия е в списание. Докладите на международни (една от които в Испания) и национални конференции и постерни представяния в национални постерни и е-постерни сесии са 9 броя. Публикуваните статии представят резултатите от дисертационния труд.

Лични впечатления за дисертанта

Като преподавател в магистърската степен на обучение, ръководител на дипломната работа и научен ръководител на докторантката мога да споделя впечатления за организиран млад преподавател с афинитет към научната и преподавателска дейност, притежаващ необходимата подготовка за по-нататъшно развитие като успешен изследовател.

Заклучение

В заключение смятам, че всички поставени в дисертацията цели са постигнати успешно.

Публикуваните резултати и приносите в представената от инж. Иванка Стоянова Петрова дисертация за получаване на научната степен „Доктор“ по научна специалност 5.9 Металургия (Металургична топлотехника) на тема: „Повишаване на ефективността на работа на стоманоразливни кофи“ са **достатъчни по значимост, а самият труд притежава всички качества за получаване на научната степен „Доктор“**, съгласно изискванията на ЗРАСРБ, Правилника за приложението му и Правилника за придобиване на научни степени и заемане на академични длъжности в ХТМУ-София.

На база на анализа на съдържанието на дисертационния труд, автореферата и публикациите и във връзка с това, че са изпълнени изискванията на Закона за РАСРБ и ПНСЗД и Правилника на ХТМУ давам положителна оценка на дисертацията и си позволявам да предложа на уважаемото научно жури да приеме и оцени положително дисертацията, представена инж. Иванка Стоянова Петрова и да ѝ присъди образователната и научна степен **„доктор“** по научна специалност 5.9 Металургия (Металургична топлотехника).

Изготвил становището:

София, 15. 12.2020

/проф. д-р инж. Емил Михайлов/