

# **Р Е З Ю М Е Т А**

**на основните резултати и научните приноси**

**на гл. ас. д-р инж. *Илиян Стойков Митов*,**

**представени за участие в конкурс**

**за заемане на академичната длъжност „доцент“ в област 5.0 Технически**

**науки, ПН 5.6 Материали и материалознание, научна специалност**

**„Материалознание и технология на машиностроителните материали“**

## ***I. Топлотехнически проблеми и повишаване на енергийната и екологичната ефективност на промишлени обекти [1A,7A,13B,15B,14B,1C]***

Серията от публикации представлява цялостен научен принос в областта на топлотехниката и металургията, обхващащ:

- интегрирано управление на технологични процеси;
- оптимизация на топлообменни апарати и пещи;
- прилагане на числено моделиране за проектиране и експериментална проверка;
- намаляване на енергийните разходи и екологичните емисии;
- подобряване на условията на труд в металургичните предприятия.

Тези резултати могат да се разглеждат като съществен принос към енергийната и екологичната ефективност на съвременните металургични производства.

**1A. Emil Mihailov, Maria Ivanova, Daniela Choshnova, Monika Asenova, Iliyan Mitov Ivanka Petrova, Thermal and Technological Integration of Processes in Metallurgy, International Journal of Heat and Technology Volume 42, Issue 5, Pages 1825 – 1832 October 2024.**

В съвременното високопроизводително металургично оборудване подобряването на енергийната ефективност е възможно чрез оптимално координиране на отделните операции и разработване на подходи и алгоритми за многопараметрична оптимизация и управление на общия технологичен процес. Като част от такава концепция, представеното изследване е посветено на разработването на система за технологична и термична интеграция на производствените процеси на плоски стоманени продукти (сляби), позволяваща зареждане на горещи блокове и намаляване на консумацията на енергия в пещите за повторно нагриване. Представената система включва динамична синхронизация на процесите на непрекъснато леене на стоманени блокове, транспортиране до валцовите цехове, престой и пред-деформационно нагриване. Изследването комбинира резултатите от работата на три числено реализирани математически модела: описващ охлаждането и втвърдяването на метала при непрекъснато леене; определящ разпределението на температурата във всеки от горещите блокове по време на транспортни операции; определящ

оптималните режими в пещите за повторно нагряване. Основната цел е оптимална синхронизация на работата на отделните производствени операции и максимално използване на топлината на горещо заредените блокове. Получените резултати позволиха оценката на различни сценарии за реализиране на процеса и вземането на решения за съхранение на блоковете преди зареждането им в пещите за повторно нагряване. След направените изследвания може да се види, че разходите за повторно нагряване на слябите за последваща пластична деформация, мога да бъдат намалени до 40%. Статията е част от серия от статии за енергийната ефективност с поредни номера 7A,13B,15B,14B и 1C от списъка.

**7A. I. Mitov. Comparative analysis of the energy efficiency of metal recuperators with a different design, Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy (13117629 13143859), University of Chemical Technology and Metallurgy Volume: 46 Issue: 4Year: 2011 Pages: 423-426**

Представени са резултати от сравнителния анализ на енергийната ефективност на два представители на най-разпространените в металургичната практика метални рекуператори - конвективен с гладки тръби и радиационен тип „тръба в тръба“. Апаратите са настроени на еднакви експлоатационни условия и се изискват еднакви параметри на предварително загретия въздух от тях. За да се постигне сравнимост между режимите на работа на двата агрегата, топлотехническите изчисления са извършени със специално създаден софтуерен продукт. Установено е, че радиационният рекуператор се оказва с около 30% по-лек от конвективния. Анализирано е съотношението между конвективната и радиационната съставка на коефициента на топлопреминаване от димните газове към стената. Сравнението между двата варианта на конструктивно разположение на радиационния топлообменник позволява да се забележат тенденции за увеличаване на емисионната способност на димните газове и значително нарастване на радиационната част при едновременно затихване на конвекцията. Статията е част от изследване за подобряване работата на индустриалните рекуператори в металургичните предприятия в България, като основната цел на изследванията са оптималното оползотворяване на топлината от изходящите газове от металургичните пещи.

**13B. Mitov I. S., F. Dinkelacker, T. Seeger, A. Leipertz, R. D. Stanev. Possibilities for Investigation of Combustion and Heat Transfer in Metallurgical Furnaces. Report of the 4-th International Course for Young Researchers „Computational Engineering“, sponsored by DAAD, Germany, Pamporovo, Bulgaria, 28.06 – 03.07.2008, p. 129.**

Систематизирани са задачите пред научно-изследователския колектив от три европейски висши учебни заведения – университетите в Зиген и Ерланген, Германия, и ХТМУ – София, България. Подчертано е, че за тяхното успешно решаване са необходими както числени симулации, така и експериментални изследвания. По-важните етапи в този сложен процес са:

1) Подробно изследване на радиационния топлообмен между газа, стените и обработвания материал в металургичната пещ посредством съвременни измервателни технически средства.

2) Тестване и прилагане на софтуерни продукти за моделиране на тези процеси и за оптимално проектиране на нова експериментална горивна камера.

3) Намиране на възможности за намаляване на емисиите на предизвикващи парников ефект газове чрез оптимизиране на процеса на изгаряне.

4) Замяна на традиционните природни горива с алтернативни и вторични енергийни ресурси.

Разглежданата работа представя някои предварителни стъпки в изброените направления. Основните цели споменати по-горе в това изследване са изпълнени и част от тях са приложени в реални металургични предприятия, резултатите от софтуерните изчислителни продукти са валидирани и доказани с индустриално проведени опити. Оптимизирано е горенето на горелките с цел понижаване на емисиите на предизвикващи парников ефект. Внедрени са комбинирани горелки с алтернативни горива. Тази статия е част от серията статии за топлотехнически проблеми и повишаване на енергийната и екологичната ефективност на промишлени обекти с номера от същият списък, 1A,7A,15B и 14B.

**15B. Mitov I. S., R. D. Stanev. Characteristics of the Microclimate in Metallurgical Workshops. Report of the 6-th International Course „Indoor Air Quality and Human Body Exposure“, Pamporovo, Bulgaria, 12 – 17.05.2009, p. 174 – 175.**

Разгледани са типични примери за работната обстановка в различни металургични цехове. Анализирани са факторите, определящи микроклимата около съответните агрегати. Предложени са пътища за подобряване на работата на дадена инсталация, при което се понижава отделянето на вредни вещества, вместо да се налага последващото им неутрализиране. Обсъдено е влиянието поотделно на фактори като високата температура, наличието на застрашаващи околната среда и човешкото здраве емисии на газове и прах, шум, вибрации и др., които са типични за металургията. Показани са някои от възможностите, предоставяни от специализирани софтуерни продукти за оптимизиране на горивните, аеродинамичните и топлообменните процеси в производствените агрегати, с които може да се въздейства индиректно върху микроклимата в цеховете и върху емисиите на вредни вещества от предприятията. Получените резултати са обобщени в изводи, основният от които е, че при правилно провеждане на технологичния процес и подходяща организация на вентилацията на работните пространства, металургичните заводи могат да предоставят нормални условия на персонала им и същевременно да удовлетворят различните видове нормативни ограничения.

**14B. Mitov I. S., R. D. Stanev. Combustion in Metallurgical Furnaces. Report of the 5-th International Course for Young Researchers „Computational Engineering“, sponsored by DAAD, Germany, Pamporovo, Bulgaria, 08 – 14.06.2009, p. 131 – 132.**

Посочени са началните резултатите при решаването на изследователската задача да се подобри проектирането и изграждането на промишлени пещи. Във фокуса на вниманието са поставени пещи, снабдени с радиационни горелки. Идентифицирани са проблемите пред дадена металургична пещ, свързани с увеличаването на ефективността на топлинното излъчване от стените на работното ѝ пространство към обработвания в нея продукт, оптимизиране на аеродинамичната обстановка в нея и на оползотворяването на топлината на изходящите димни газове, както и осъществяване на ефективно регистриране и управление на основните ѝ експлоатационни параметри. Представени са резултати от тестване на чувствителността на използвания стандартен софтуерен продукт „ANSYS-Fluent“ 5.3 при промяна на скоростите на горивото и въздуха, постъпващи към изследваната горелка. Част от резултатите от това изследване са публикувани и в статия номер 13B, 15B и 1C от същият списък.

**1C. Станев Р. Д., И. С. Митов, А. Ч. Ганков. Топлотехническо оразмеряване на експериментална пещна камера. Доклад пред VII научна постерна сесия на ХТМУ – София, България, 19.05.2010.**

Осъществено е топлотехническо оразмеряване на опитен стенд, който ще служи за провеждане на разнообразни горивотехнически, аеродинамични и топлообменни изпитвания при условия, максимално доближаващи се до реалните в съвременните камерни пещи. Избрани са подходящи горелки, отговарящи на изискванията към функционирането на стенда и възможностите за осъществяването в него изследвания. Предложени са различни варианти за оформление на свода на пещта. С помощта на софтуерния продукт „ANSYS-Fluent“ 5.3 са моделирани температурните полета в работната камера. За целта енергоносителят и въздухът са приети като напълно смесени предварително, и е използвана комбинация от метода на крайните елементи и стандартния k - ε модел. Доклада е част от серия от статии, с номера 13B и 14B които са насочени към софтуерно моделиране на процесите на горене и динамиката на флуидите в металургичните пещи и агрегати.

### **Общ научен принос**

1. Повишаване на енергийната ефективност на металургичните процеси
  - Разработени са подходи за технологична и термична интеграция на производството на плоски стоманени продукти, което позволява горещо зареждане на блокове и намаляване на разходите за повторно нагриване с до 40%.

- Създадени са математически модели за оптимизация на охлаждането, транспортирането и повторното нагриване на стоманени заготовки.
2. Оптимизация и усъвършенстване на топлообменните устройства
    - Проведен е сравнителен анализ на конвективни и радиационни метални рекуператори, доказващ предимствата на радиационните конструкции (около 30% по-лека конструкция, по-висока ефективност на топлопреминаване).
    - Изведени са зависимости за увеличаване на емисионната способност на димните газове и по-добро използване на радиационната топлообменна компонента.
  3. Моделиране и симулация на процесите на горене и топлообмен
    - Използвани са съвременни софтуерни продукти (ANSYS-Fluent и др.) за моделиране на горивни, аеродинамични и топлообменни процеси в металургичните пещи.
    - Разработени са експериментални и изчислителни методики за оразмеряване на пещни камери, което доближава лабораторните изпитвания до реалните производствени условия.
  4. Намаляване на екологичния отпечатък
    - Предложени са решения за намаляване на емисиите на парникови газове чрез оптимизиране на горивния процес и внедряване на комбинирани горелки с алтернативни и вторични горива.
    - Разгледано е влиянието на микроклимата в металургичните цехове и са предложени мерки за подобряване на работната среда (намаляване на вредните емисии, шум, вибрации и др.).
  5. Интердисциплинарен и приложен характер
    - Работата обединява числени симулации, експериментални изследвания и индустриални внедрявания, като резултатите са потвърдени чрез реални опити в металургични предприятия.
    - Изследванията са международно кооперирани (Германия – България), което показва съвременен подход към решаването на комплексни научно-приложни задачи.

## ***II. Преносни процеси във въртящи се пещи [3B,4B,5B,2C,2A,3A,15A,6B,7B,8B,13A,4A,1B,2B,9B,14A ]***

Сумарно, публикациите №

[3B,4B,5B,2C,2A,3A,15A,6B,7B,8B,13A,4A,1B,2B,9B,14A] формират цялостен принос в областта на преносните процеси във въртящи се пещи, който съчетава:

- фундаментални модели;
- експериментални потвърждения;

- инженерни зависимости и насоки;
- приложни технологии за индустрията.

**3В. Станев Р. Д., И. С. Митов. Експериментална въртяща се пещ за изчисляване на движението на твърдите частици и на топлообмена. Инженерни науки, 45, кн. 2, 2008, стр. 56 – 67.**

Описана е подготовката и пускането в експлоатация на опитна (пилотна) въртяща се пещ, разположена в университета „Ото фон Герике“ в гр. Магдебург, Германия, като конструирането, надзорът при изработката и монтирането на отделни нейни елементи са личен научно-приложен и принос на авторите. Проведени са опити без материала в пещта и е установено равномерно разпределение на наблюдаваните температури в достатъчен брой нейни напречни сечения. Това е доказателство както за правилното разполагане на горелката, така и за доброто функциониране на системата за измерване на температурите в отделните точки и позиции по дължината на цилиндричния корпус. След осъществяването на настройките и отстраняването на появилите се смущения е констатирано, че инсталацията позволява задълбочено изучаване както на движението на твърдия материал, така и на свързаните с него топлообменни процеси в експерименталната въртяща се пещ, а също и разпространяване на резултатите върху широка гама от промишлени реактори от този тип. Решаването на последната задача би представлявало съществен научен принос, поради което, наред със специфичните цели, елементи от него са заложили при изпълнението на всички останали работи, представени в настоящото тематично направление.

**4В. Митов И. С., Р. Д. Станев. Математично описание на отклоненията на падащите частици от дисперсен материал, обработен във въртяща се пещ. Инженерни науки, 45, кн. 3, 2008, стр. 42 – 49.**

Обоснована е концепцията, че поради голямото разнообразие на осъществяваните процеси във въртящи се пещи, определянето на редица параметри като време на престой на дисперсния материал в работното пространство, характер на температурното поле, степен на запълване на цилиндъра и др. индивидуално за всеки конкретен случай е свързано със значителни разходи на ресурси. Затова от особена важност е осигуряването на възможности за тяхното пресмятане без да се налагат физичните експерименти или при свеждане до минимум на необходимостта от тях. Обсъжданата публикация представя решение на един от посочените проблеми. То е намерено чрез съставянето на математичен модел, позволяващ предсказване на отклоненията на падащите частици от въртящата се пещ по отношение на вертикалната ѝ ос, което е научен принос. Проведените изчисления по разработения алгоритъм показват, че приетите постановки при неговото създаване отговарят на природата на описаното физично явление. Предложеният математичен модел може да се използва за прогнозиране на

натоварването на транспортната лента, отвеждаща третирания в пещта материал към неговия потребител. Неговата практическа ориентация позволява да се твърди, че разработването му представлява и приложен принос.

**5В. Митов И. С., Р. Д. Станев. Приложение на аналитичен модел за определяне на дебелините на слоевете от материал във въртяща се пещ. Инженерни науки, 45, кн. 4, 2008, стр. 58 – 67.**

Работата представя възможностите на собствен аналитичен модел, създаден на базата на закономерностите при движението на частиците в цилиндрична въртяща се пещ. Той е наречен „тотален“ и позволява изчисляването както на общата дебелината на слоя от материал, така и на тази на активната му зона, заемаща областта непосредствено под свободната му повърхност. Разработването на този модел по наше мнение е научен принос. Експериментално е установено разпределението на частиците при различни скорости на въртене на агрегата, различна степен на запълването му и за различни материали. Опитно констатираното поведение на материала демонстрира добро съгласуване с теоретично предсказаното по изведения тотален модел, което доказва точното предсказване от негова страна на описваните физичните явления.

**2С. К. Върбанов, И. Митов, Б. Йорданов, Д. Кръстев. Технологични изследвания за възможността за преработка на отпадъци от оловно производство на „КЦМ Пловдив“. Доклад пред XIX научна постерна сесия на ХТМУ – София, София, България, 19.05.2022.**

Направени са технологични изследвания за възможността за използване на отпадъчен продукт от оловно производство, като суровина за производство на клинкер. За целта отпадъка се смесва с определено количество глина и варовик и така получената нова смес се подлага на изпичане в тръбна въртяща се пещ до получаване на продукт, който има свързващи свойства. Определени са оптималните параметри на процеса на пелетизиране, като влага, оптимален размер на получените пелети и тяхната здравина след процеса на пелетизация. Анализирани са процеса на спичане в тръбна въртяща се пещ. Определени са технологичните параметри на процеса, като температура, време, анализ на изходящите газове и на получения клинкер. Също така предстои да се определят и свързващите свойства на получения продукт. За бъдеще се предвижда да се направят изследвания, за да се установи дали след процеса на спичане в тръбната въртяща се пещ са били неутрализирани опасните вещества и елементи от отпадъка.

**2A. Herz F., I. Mitov, E. Specht, R. Stanev. Experimental Study of the Contact Heat Transfer Coefficient between the Covered Wall and Solid Bed in Rotary Drums. Chemical Engineering Science, 82, 2012, p. 312 – 318.**

Обоснована е тезата, че за описание на преноса на топлина от покритата с твърд материал стена към слоя от него при индиректно нагрявани въртящи се пещи съществуват много моделни подходи, предложени в достъпната литература към момента. Изчисленията по тях коефициенти на топлоотдаване проявяват значителни количествени разлики помежду си, което затруднява избора на подходящ аналитичен начин за симулиране на процесите в разглежданите агрегати. Описан е опитен стенд, създаден и настроен за целите на серия от изследвания на контактния топлообмен в индиректно нагрявана тръбна въртяща се пещ, описани в настоящата работа и в публикации №№ 3А, 4А от приложения списък. Осъществени са измервания на коефициента на топлоотдаване в експерименталната инсталация. За анализ на чувствителността на опитните данни са изменени работните параметри скорост на въртене и степен на запълване на барабана. Като изпитван материал е използван кварцов пясък. Съпоставката между резултатите от измерванията и изчисленията по различни методики демонстрира напълно приемливо съгласуване с получените стойности по три от използваните за сравнение математични модела. Мнението на авторите за приносите в изследванията, описани в цикъла от публикации №№ 2А, 3А и 4А, което няма да бъде повтаряно при представянето на следващите три работи, е че създадените уникални измервателни средства и подходи са научен, а съответният анализ на придобитите опитни данни е научно-приложен принос.

**3А. Herz F., I. Mitov, E. Specht, R. Stanev. Influence of Operational Parameters and Material Properties on the Contact Heat Transfer in Rotary Kilns. International Journal of Heat and Mass Transfer, 55, Issues 25 – 26, 2012, p. 7941 – 7948.**

Работата представлява продължение на изследванията, описани в публикация № 2А от приложения списък. Разширен е обхватът на изпитваните материали, а именно кварцов пясък, стъклени и медни сфери. Сравнени са резултатите от експериментално определените стойности на коефициента на контактен топлообмен в представения вече опитен въртящ се барабан с индиректно нагряване и изчисленията по използваните модели. Анализирана е чувствителността на получените измерени данни от работните параметри на пещта скорост на въртене и степен на запълването ѝ от слоя, а също от характеристиките на твърдия материал като диаметър и топлофизични показатели на частиците му, като са изследвани кварцов пясък, стъклени и медни сфери. Резултатите от измерванията показват добро съгласуване с един от използваните модели в рамките на посочените граници на изменение на избраните фактори.

**15A. Rayko Stanev, Iliyan Mitov, Ivan Shtaplev, Vasil Harizanov. Assessment of the impact of some meteorological factors on the energy and environmental efficiency of tube rotary kilns, Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 58, No. 3, 2023, p. 529 – 536.**

Подчертава се, че въртящите се пещи са агрегати за високотемпературна термична обработка на широк спектър от материали с непрекъснат технологичен процес. Този тип оборудване се използва интензивно в много индустриални сектори като химически, металургичен, силикатен, фармацевтичен и други. В металургията тези инсталации се използват при термична обработка на насипни материали, например при редукция на оксидни руди, при калциниране на варовик, сушене на медно-сулфидна шихта, почистване на метални стружки от машинно масло и други. Направен е преглед на методите за пренос на топлина към материала, обработван в дадена ротационна пещ, както и на основните математически модели за описание на сложните транспортни явления в разглежданите агрегати. Акцентът е поставен върху факта, че поради големите си размери, ротационните пещи често се инсталират на открити пространства в рамките на индустриалните съоръжения, към които са включени. Промениливите метеорологични условия могат да окажат значително влияние върху енергийния поток, напускащ клетката на такъв агрегат. Той се разсейва безполезно в околната среда, което се счита за причина за широкото му характеризирание като „топлинна загуба“. Тази концепция съдържа известна условност, тъй като съгласно закона за запазване на енергията, тя не може да бъде създавана и унищожена, а може да се трансформира от една форма в друга. Удобството на изразяване, което предлага, обаче е довело до използването ѝ в настоящото представяне. Предложената работа е фокусирана върху анализа на резултатите, получени от изчисляване на топлинните загуби от ротационна пещ към околния външен въздух при средногодишна температура, типична за географската ширина и климатичните особености на България и наличието на относително слаб постоянен вятър. В резултат на изчисленията са направени изводи за съотношенията между отделните топлинни потоци от външната повърхност на агрегата към околната среда, както и практически насочени препоръки за подобряване на енергийната и екологичната ефективност на разглежданото оборудване.

**6B. Stanev R. D., I. S. Mitov. Experimental Approaches and Measuring Instruments for Investigation of Transport Phenomena in Rotary Kilns. Advances in Natural Science – Theory and Applications, 2, No. 1, 2013, p. 39 – 53.**

Систематизирани са възможните подходи за изследване на преносните процеси във въртящи се пещи и основните затруднения при използването им. Представени са подготовката, комплектоването, пускането в експлоатация и настройването на две опитни инсталации, предназначени за изследване на:  
- движението на частиците и топлообмена в директно нагривана тръбна въртяща се пещ (описана изчерпателно и в публикация № 5B от приложения списък), и

- контактния топлообмен в индиректно нагрявана тръбна въртяща се пещ (представена подробно в публикации №№ 2А, 3А, и 4А от приложения списък). С помощта на първия от създадените експериментални стендове е доказана правилната физична природа на предпоставките при извеждането и практическата приложимост на два собствени математични модела. Чрез опитната инсталация за изследване на контактния топлообмен в индиректно нагрявана тръбна въртяща се пещ е констатирано, че получените експериментални стойности се съгласуват много добре с данните от изчисленията по три известни от литературата математични модела. Това съвпадение е доказателство както за функционалната пригодност и точността на създадения експериментален стенд, така и за адекватността на използваната изчислителна процедура. Очертани са перспективите за бъдещи изследвания на преносните процеси във въртящи се пещи, които могат да бъдат осъществени в опитните инсталации, представени в настоящата работа, а също и в проекти с по-широки обхвати. По наше мнение това е основният ѝ принос, който има научен характер.

**7B. Stanev R. D., I. S. Mitov. Problems at the Industrial Application of Modern Rotary Kilns. Advances in Natural Science – Theory and Applications, 2, No. 1, 2013, p. 55 – 71.**

Осъществен е преглед на съвременните въртящи се пещи, като са анализирани най-важните им характеристики и възможностите за приложение на различните конструктивни варианти за тяхното оформление. Представени са основните типове горелки, използвани в директно нагряваните въртящи се пещи, като са дискутирани показателите и областта на използването им. Систематизирани са нерешени към момента проблеми, свързани с движението на слоя във въртящи се пещи, с отклоненията на падащите частици и с дебелината на пластове от дисперсен материал в тези агрегати, с контактния топлообмен във външно нагрявани въртящи се пещи, а също и с горивните и топлообменните процеси в инсталации с директно отопление. Очертаването на нуждаещи се от по-нататъшно изследване направления по наше мнение може да се третира като принос с научен характер.

**8B. Mitov I. S., R. D. Stanev. Motion Modes of the Bed in Tube Rotary Kilns and Opportunities for Mathematical Description of the Disperse Material Behavior. Advances in Natural Science – Theory and Applications, 2, No. 2, 2013, p. 1 –19.**

Разгледани са основните видове движения на слоя в тръбни въртящи се пещи, като е акцентирано върху механизма на търкалящото. Представени са в по-приложен аспект създадените два математични модела, засягащи поведението на материала в обсъждания агрегат – съответно за предсказване на отклоненията на падащите частици от неговия корпус (сравни и с публикация № 2А от приложения списък) и за определяне на общата дебелина на слоя от обработван материал в цилиндъра и на активната част от него, наречен

„тотален модел“ (описан подробно в публикация № 4B). Подготвен е, комплектован е, пуснат е в експлоатация и е настроен опитен стенд, позволяващ изследване на движението на частиците в тръбна въртяща се пещ, а в перспектива – и на осъществяваните в нея топлообменни процеси. Доказано е по теоретичен и експериментален път посредством създадената инсталация, че приетите предпоставки в разработените алгоритми отговарят на природата на описваните физични явления, а също е обоснована тяхната практическа приложимост. Подчертано е, че изведените математични модели могат да се използват успешно за избор на подходящ експлоатационен режим за конкретните условия на функциониране на дадена тръбна въртяща се пещ и за установяване на разпределението на частиците върху транспортната лента, по която става отвеждането им за следваща технологична операция или към консуматора, както и за прогнозиране на нейното натоварване. Тяхната практическа насоченост дава основание за твърдението, че разработването им представлява и приложен принос.

**13A. Stanev R. D., I. Mitov, E. Specht, F. Herz. Geometrical Characteristics of the Solid Bed in a Rotary Kiln. Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 49, No. 1, 2014, p. 82 – 89.**

Анализирани са данни за геометричните характеристики на заетата с материал част от напречното сечение на въртяща се пещ, получени по собствен математичен модел, представен в публикация № 4B от приложения списък. Проведените предишни и настоящи изследвания позволяват да се обобщи, че върху дебелините и вертикалните дълбочини на целия слой и на активната част от него оказват влияние вътрешният диаметър на пещта, скоростта на въртенето ѝ, степента на нейното запълване с материал, динамичният му ъгъл на естествен откос и диаметърът на частиците. За всеки набор от дискретни стойности, характеризиращи височината на максимума в конкретната крива от споменатото изследване, са предложени по три уравнения, подредени по низходящ ред според степента им на адекватност. Статистическият анализ на всички изведени зависимости показва, че те могат да се използват за успешно предсказване на височината на съответния максимум. Препоръчва се това да става по предложената на първо място корелация, която в над 75 % от случаите е полином от втора степен. Създаването на представените опростени формули за практически цели може да се категоризира като приложен принос.

**4A. Herz F., I. Mitov, E. Specht, R. Stanev. Influence of the Motion Behavior on the Contact Heat Transfer between the Covered Wall and Solid Bed in Rotary Kilns. Experimental Heat Transfer, 28, No. 2, 2015, p. 174 – 188.**

Аргументирано е твърдението, че топлообменът при контакт между повърхността на стената и твърдия материал във въртящ се барабан може да бъде описан аналитично от множество модели, публикувани в специалната литература. Тези алгоритми, обаче, са базирани на приемането, че слойът се

движи търкалящо. Това условие не е изпълнено в редица промишлени инсталации. За да се изучи ефектът от различните начини на напречно движение на пълнежа върху контактния топлообмен във въртящи се пещи, са предприети измервания в индиректно нагрявания опитен барабан, описан и в представените вече публикации №№ 2А, 3А и 4А от приложения списък. С цел да се реализират различни режими, като материали за изпитване са използвани кварцов пясък, алуминиев и циментов прах, осигуряващи съответно търкалящо, хлътващо и плъзгащо движение. Констатирано е, че експерименталните данни са съвместими в качествено отношение с всички изчислени по моделите. При хлътващ и плъзгащ режим, обаче, се проявяват значителни отклонения между измерените и пресметнатите характеристики. Опитно определените коефициенти на топлоотдаване имат до 3 пъти по-малки стойности при хлътващо и са до 5 пъти по-ниски при плъзгащо движение от изчислените резултати. Приносите на тази статия, както и на работите №№ 3А приложения списък, са посочени еднократно при представянето на първата публикация № 2А от списъка.

**1B. Stanev R. D., I. S. Mitov. Technological and Ecological Advantages of the Production and Using of Metallized Pellets. Engineering Sciences, 52, Book 1, 2015, p. 66 – 77.**

Систематизирани са подходите при разработването на съвременни методи за повторна преработка на остатъчни продукти, натрупани на големи маси в близост до населени места и индустриални райони, както и техните най-характерни черти. Представен е един ефективен начин за решаване на редица технологични и екологични проблеми, заключаващ се в производството на пелети от остатъчни материали при осъществяването на традиционни процеси в черната металургия, както и последващото им използване в като ценна суровина за нея. Метализацията на тези агломерати при производствени условия се извършва в тръбни въртящи се пещи. Разгледани са главните етапи при осъществяването на лабораторни експерименти, целящи определянето на най-благоприятни нива на основните фактори, влияещи върху реализирането на представената технология. Експериментално е установено въздействието на съдържанието на добавяните като редуктор въглища върху степента на метализация на пелетизиран концентрат за доменно производство. Получените резултати са анализирани качествено и е изведена емпирична линейна зависимост, позволяваща тяхното количествено описание за използваните материали в границите на нейната валидност. По наше мнение нейното създаване притежава елементи на научно-приложен принос.

**2B. Mitov I. S., R. D. Stanev. Laboratory Study of the Metallization Process of Compressed Residues from Metallurgical Enterprises. Engineering Sciences, 52, Book 2, 2015, p. 45 – 54.**

Представени са и са обсъдени резултатите от експериментално определяне на влиянието на някои от основните фактори върху осъществяването на метализация на брикети, получени чрез пресоване на остатъчни материали от традиционни производства в черната металургия. Промисленото реализиране на този процес става в тръбни въртящи се пещи, което затруднява и оскъпява провеждането на опити в тези съоръжения. Установено е, че нарастването на едрината на използвания редуктор забавя процеса, като тенденцията прогресира при частици с еквивалентен диаметър над 0,003 m. Констатирано е, че повишаването на относителното съдържание на въглицата предизвиква увеличаване на степента на метализация при всички изследвани тела и размери, като в количествено отношение тази зависимост се засилва и води до по-добри резултати при по-дребните изделия. Експериментално е установено, че замяната на въздушното охлаждане на брикетите с водно оказва задържащо въздействие върху редукцията на желязните оксиди само при по-ниска концентрация на използвания за целта агент. Предложена е хипотеза, според която намаляването на степента на метализация на пробите при добавянето на водно стъкло като подобрител на механичните им показатели се дължи на повишаване на тяхната плътност и спадане на порьозността им, откъдето и на възможността редукторът да проникне в обработвания материал. Препоръчани са конкретни условия и нива на влияещите фактори за реалното осъществяване на метализация на изследваните кубични брикети. Представените резултати могат да се категоризират като научно-приложен и приложен принос.

**9B. Stanev R. D., I. S. Mitov. Influence of the Reducing Agent Characteristics on the Metallization of Briquettes from Residual Ferrous Oxides. Advances in Natural Science – Theory and Applications, 3, No. 2, 2014, p. 1 – 9.**

Подчертано е, че основният акцент при оползотворяването на остатъци от традиционните процеси в съвременните металургични предприятия се поставя върху усъвършенстването на методите за редукция на наличните оксиди в суровината посредством въглища. При нея се повишава делът на желязото в получаваните полуфабрикати и същевременно се постига значителен екологичен ефект. Разгледан е механизмът за осъществяване на метализация на агломерати от желязосъдържащи материали и е подчертана водещата роля на интензивното предаване на топлина към повърхността на тялото и оттам – към вътрешните му части. На тази база са идентифицирани основните проблеми пред ефективната експлоатация на тръбните въртящи се пещи, в които се реализира редукцията на оксидите в използваната суровината чрез въглища. Представена е методика за лабораторно изследване на метализацията на брикети, получени от желязна окалина. Демонстрирано е нейното приложение за установяване на влиянието на два от най-съществените фактори, обуславящи

този процес при брикети с форма на куб, а именно относителното съдържание на използваните въглища и размерите на агломератите. Експериментално е констатирано, че с увеличаване на големината на пробните тела, степента на метализацията им при равни други условия се понижава. Същият показател забавя значително своето повишаване при нарастване на дела на редуктора в изследваните проби над дадена стойност, а под определена долна граница той спада недопустимо. Тези резултати могат да подпомогнат избора на оптимални режими за експлоатация на промишлените инсталации за производство на металосъдържащи агломерати и представляват приноси с научно-приложен и приложен характер.

**14A. Stanev R. D., I. S. Mitov. From Energy-Technological to Energy-Economical Combining. Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy, 46, No. 2, 2011, p. 175 – 180.**

Направен е критичен преглед на най-разпространените схеми за използване на физичната топлина на изходящите газове от даден пещен агрегат. Анализирана е съществуващата до момента практика за енерго-технологично комбиниране и са посочени възникващите при него проблеми. Предложен е нов подход, при който се дава предимство на остойностяването на всички елементи и процеси в различните варианти за изграждане на системите, след което се търсят начини за техническото реализиране на най-изгодния от тях. Изброени са някои посоки за намиране на конкурентни спрямо съществуващите схеми, които могат да се открият като печеливши при възприемане на водеща роля на енерго-икономическото комбиниране. Представените анализи могат да се разглеждат като научно-приложен принос.

|                                                             |               |                    |          |
|-------------------------------------------------------------|---------------|--------------------|----------|
| <b>Научен</b>                                               | <b>принос</b> | <b>(публикации</b> | <b>№</b> |
| <b>(3B,4B,5B,2C,2A,3A,15A,6B,7B,8B,13A,4A,1B,2B,9B,14A)</b> |               |                    |          |

1. Експериментална инфраструктура и измервателни подходи.

В рамките на изследванията са проектирани, изработени и въведени в експлоатация два уникални опитни стенда за въртящи се пещи (публ. №3B, №2A, №3A, №6B, №4A).

- Първият е директно нагрявана тръбна въртяща се пещ, предназначена за изследване на движението на дисперсни частици и топлообмена.
- Вторият е индиректно нагряван въртящ се барабан, чрез който е възможно да се определя коефициентът на контактен топлообмен между стената и насипния слой.

Създадени са собствени методики и измервателни средства, които позволяват експериментално определяне на топлотехнически параметри при контролирано изменение на скоростта на въртене, степента на запълване и физико-механичните характеристики на материала (кварцов пясък, стъклени и медни сфери и др.). Потвърдена е метрологичната надеждност на стендовете чрез

равномерни температурни полета и възпроизводимост на данните. Тези резултати имат научен и научно-приложен принос, тъй като осигуряват експериментална база за валидация на математически модели и за последващи практически приложения.

## 2. Математични модели и геометрични зависимости

Разработени са два оригинални математични модела (публ. №4В, №5В, №8В):

- модел за отклоненията на падащите частици във въртящата се пещ;
- т.нар. „тотален модел“ за определяне на общата и активната дебелина на слоя.

Експерименталните изследвания (публ. №3В, №5В, №8В) показват добра съгласуваност между теория и практика, което потвърждава физическата коректност на моделите.

Допълнително са изведени емпирични зависимости (публ. №13А) за височината на максимума в напречното сечение на слоя в зависимост от диаметъра на пещта, скоростта на въртене, степента на запълване, динамичния ъгъл на откос и размера на частиците. Тези корелации са подходящи за бързи инженерни пресмятания и се приемат за приложен принос.

## 3. Контактен топлообмен стена–насипен слой

В серия публикации (№2А, №3А, №4А) е извършен систематичен експериментален анализ на контактния топлообмен между стената и слоя твърд материал в индиректно нагрявани пещи. Показано е, че съществуващите аналитични модели често дават значително различни резултати и не отчитат реалните режими на движение.

- Доказано е, че при търкалящо движение има добро съгласуване между модели и експериментални данни.
- При хлътващо и плъзгащо движение, характерни за редица промишлени инсталации, измерените коефициенти са 3–5 пъти по-ниски от предсказаните.

Тези резултати са оригинален научен принос, тъй като променят представата за надеждността на класическите модели и дават основа за тяхното калибриране спрямо реални режими.

## 4. Енерго-екологична ефективност и влияние на външни фактори

В публ. №15А е анализирано въздействието на метеорологичните условия върху топлинните загуби на открито инсталирани въртящи се пещи. Чрез изчисления при средногодишни температури и постоянен вятър за България са определени съотношенията между топлинните потоци от външната повърхност на агрегата. На тази база са формулирани практически препоръки за намаляване на загубите и подобряване на енергийната и екологичната ефективност.

В публ. №14А е предложен нов подход за преминаване от енерго-технологично към енерго-икономическо комбиниране, при който изборът на схема за оползотворяване на топлина се базира на стойностен анализ на вариантите. Това представлява научно-приложен принос с пряка практическа насоченост.

#### 5. Оползотворяване на остатъчни материали и метализация

В публикации №1В, №2В и №9В са изследвани възможности за пелетизиране и метализация на железосъдържащи остатъчни материали. Установени са:

- влиянието на размера и относителното съдържание на редуктора (въглища);
- ефектите на различни режими на охлаждане (въздух, вода);
- отрицателното въздействие на добавки като водно стъкло върху степента на метализация.

Изведени са емпирични зависимости и предложени оптимални условия за лабораторно и промишлено осъществяване. Това има приложен принос към кръговата икономика и намаляване на екологичния отпечатък на металургичните производства. Публ. №2С допълва тези резултати с технологични изследвания за преработка на отпадъци от оловно производство, отваряйки нови перспективи за използване на въртящи се пещи при рециклиране.

#### 6. Обобщения и приоритети за бъдеща работа

В обзорни публикации (№6В, №7В, №8В) са систематизирани:

- наличните експериментални и математични подходи;
- основните проблеми в областта на движението на слоя, контактния топлообмен и енергийното оползотворяване;
- перспективни направления за бъдещи изследвания, включително комбинирано използване на експериментални и числени методи.

Тези обобщения имат научен принос, тъй като очертават пътя за решаване на комплексни задачи в областта на топлотехниката и преносните процеси.

#### Практическа значимост

- Осигурени са по-точни инженерни инструменти за проектиране, реконструкция и оптимизация на въртящи се пещи.
- Намалени са енергийните разходи и емисиите, чрез по-коректно моделиране на контактния топлообмен и управление на външните загуби.
- Разработени са технологии за оползотворяване на остатъци, съобразени с изискванията на кръговата икономика и екологичните стандарти.

### **III. Оползотворяване на отпадъци от металургичните процеси [ 5A,6A,8A,10B ]**

#### **Общ научен принос**

- Създадени са нови технологични схеми за оползотворяване на отпадъци от барит, железни концентрати и медни оксиди.
- Постигнат е пълен цикъл от лабораторни изследвания до индустриални внедрявания – изградени заводи за избелен барит и за директна редукция на железосъдържащи пелети, както и флотационна фабрика.
- Въведени са иновативни методи (магнетизиращо пържене, ЕТПС), които надграждат класическите технологии.
- Доказано е, че отпадъците от металургичните предприятия могат да се превърнат в ценни суровини за производство, с икономическа и екологична полза.

**5A. Iliyan Mitov, Ani Stoilova, Rositsa Gavrilova, Boyan Yordanov. Production of barium sulfate with considerably improved whiteness through calcination of barite recovered from waste material. Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy, Volume: 60, Issue: 4, 2025, Pages: 679-684**

Изследването представя накаляване на барит, добит от отпадък, съхраняван в хвостохранилище, разположено в България, с цел получаване на  $\text{BaSO}_4$  с подобрена белота. Калцинирането е проведено във въртяща се пещ при  $1150^\circ\text{C}$  в среда с присъствие на въздух. Обработени са проби от три партии барит с различен размер на частиците, а именно  $40\ \mu\text{m}$ ,  $20\ \mu\text{m}$  и  $6\ \mu\text{m}$ , и са измерени цветът и стойността на белотата на продукта. Определено е и времето на престой на материала в пещта, съответно в нагрятата зона. Резултатите показват, че белотата на барита, извлечен от хвоста, може да се подобри с 4 - 20 единици чрез нагриване. Статията е част от изследвания посветени на преработката на отпадъци от металургичните производства в България, като основните цели са; отпадъците със съдържания на полезни компоненти да се разработят икономически изгодни технологични схеми. Посредством тях да се извлекът полезните елементи. Статиите с номера 5A,6A,8A и 10B от същият списък. Получените резултати от изследванията са използвани за изграждането на завод за избелен барит на бившето хвостохранилище на МК Кремиковци в кв. Ботунец, София.

**6A. Mitov, I., Yordanov, B., Gavrilova, R., Karadjova, V. Technological possibilities for the utilization of iron-containing waste from metallurgical industries, Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 2025, 60 (3), pp. 497–502.**

Проучването представя възможностите за преработка на желязо-съдържащи отпадъци от металургично производство. Суровината за експериментите е получена от хвостохранилището на металургичен завод в България с цел получаване на продукт, който може да се използва като суровина в доменното производство. Изпитването е проведено във въртяща се пещ при 1150°C, 1100°C, 1050°C в присъствието на редуктор. Суровините за процеса на директна редукция са три различни вида желязна руда и въглища. По време на предоставените експерименти са установени основните технологични параметри на процеса на редукция, като температура, време на процеса, налягане в пещта и състав на изходящите газове от процеса. Статията е част от статиите за преработка на отпадъците от металургичните предприятия, като тук фокуса е преработка на желязосъдържащи отпадъци. Получените резултати от изследванията са използвани за изграждането на завод за директна редукция на желязо - съдържащи пелети в тръбна въртяща се пещ в гр. Лом.

**8A. Mitov, I.; Stoilova, A.; Yordanov, B. and Krastev, D. Technological research on converting iron ore tailings into a marketable product. J. S. Afr. Inst. Min. Metall. [online]. 2021, vol.121, n.5, pp.181-186. ISSN 2411-9717. <http://dx.doi.org/10.17159/2411-9717/1273/2021>.**

Представяме три технологични сценария за извличане на желязните компоненти от отпадък, съхраняван в хвостохранилището на металургичния завод „Кремиковци“ в България, в търговски желязосъдържащи пелети. При първия подход желязният концентрат е извлечен чрез двуетапен флотационен процес, обезшламяване и магнитно сепариране. При втория предложен процес желязният концентрат е подложен на четири последователни етапа на магнитно сепариране, съчетани със селективна магнитна флокулация. Третият метод включва не много разпространеното в практиката така нареченото магнетизиращо пържене, последвано от селективна магнитна флокулация, обезшламяване и магнитно разделяне. Желязният концентрат е пелетизиран в лабораторен пелетизатор. Всяка технология е оценена по отношение на масовия добив на желязо, олово и цинк, за да се определи най-ефективният метод. Получените резултати от изследванията са използвани за изграждането на флотационна фабрика за производство на два продукта, баритен и желязен концентрат на бившето хвостохранилище на МК Кремиковци в кв. Ботунец, София.

**10B. B. Yordanov, D. Krastev, R. Petkov, I. Mitov, E. Koleva D Reduction Of Copper Oxide With Powder Carbon at Electrothermal Rotary bed Conditions Journal (ISSN): 49 th International October Conference on Mining And Metallurgy, Bor Lake, Serbia, October 18-21, 2017. (978-86-6305-066-2) (978-86-6305-066-2 978-86-6305-066-2) Publisher: University of Belgrade, Technical Faculty in Bor in 664 pages Year: 2017**

В тази работа е изследвана възможността за редукция на меден оксид ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), получен като отпадък от процеса на горещо валцуване на медни сляби. Процесът на редукция се провежда при 600 – 800 °C за 60 минути при изотермично задържане в пещ, работеща на принципа на електротермичен ротационен слой (ETPC). Необходимата топлина за процеса и редукционната атмосфера се генерират директно в работното пространство на пещта, посредством електрически ток с индустриална честота, които преминава през реакционната смес, съставена от диспергирани отпадъци от медна окалина и графитен прах. Процесът на охлаждане е чрез преминаване на инертен газ като аргон или азот през реакционна смес след изключването на електрическото захранване и се извършва до температури 80 – 100 °C, след което е възможно охлаждане и въздух. Извършени са рентгенови и ситови анализи на получения редукциран прах. Процесът на редукция при температура 800 °C, 60 минути изотермично задържане за фракции 0.4 - 0.63 mm и 0.63 - 0.8 mm е напълно завършен и продуктът се състои от малки глобуларни медни частици с необходимата техническа чистота.

В настоящата работа е направен принос в областта на утилизацията на отпадъци от металургични процеси чрез:

1. Демонстриране на възможност за пълна редукция на  $\text{Cu}_2\text{O}$ , получен като вторичен продукт при горещо валцуване на медни сляби, до мед с висока техническа чистота.
2. Използване на електротермичен ротационен слой (ETPC) като иновативен подход, при който едновременно се осигуряват необходимата температура и редукционна атмосфера чрез индустриален електрически ток, преминаващ директно през реакционната смес.
3. Оптимизиране на технологичните параметри – доказано е, че при 800 °C и 60 минути изотермично задържане редукцията на фракции 0.4–0.63 mm и 0.63–0.8 mm е напълно завършена.
4. Постигане на продукт с дефинирана морфология – получени са малки глобуларни частици мед, които отговарят на изискванията за техническа чистота и могат да бъдат използвани в последващи технологични процеси.
5. Методологичен принос – приложени са рентгенови и ситови анализи за верифициране на резултатите, което дава надеждна база за оценка на ефективността на редукционния процес.

## **Научен принос (публикации №5А,6А,8А,10В)**

### **1. Разработване на технологии за преработка на баритни отпадъци**

- Изследван е процесът на калциниране на барит, извлечен от хвостохранилище, с цел получаване на  $\text{BaSO}_4$  с подобрена белота (публ. №5А).
- Определени са оптимални условия (температура, време на престой, размер на частиците), при които се постига увеличаване на белотата с 4–20 единици.
- Получените резултати са използвани за изграждане на индустриално производство на избелен барит в бившето хвостохранилище на МК „Кремиковци“ (кв. Ботунец, София).
- Принос: трансфер на лабораторни резултати в промишлена технология, водещ до нов пазарен продукт с добавена стойност.

### **2. Оползотворяване на железосъдържащи отпадъци**

- Разгледани са технологичните възможности за директна редукция на железосъдържащи отпадъци от металургични производства (публ. №6А).
- Експерименти във въртяща се пещ при различни температури (1050–1150 °С) и при наличие на редуктор (въглища) показват условия за ефективно протичане на процеса.
- Установени са основните параметри на редукцията (температура, време, налягане, състав на газовете).
- Резултатите са приложени за изграждането на завод за директна редукция на железосъдържащи пелети в гр. Лом.

Принос: демонстриране на индустриална приложимост на метода за трансформация на отпадъци в суровина за доменното производство.

### **3. Нови подходи за извличане на желязо от хвостохранилища**

- Представени са три технологични сценария за извличане на желязни компоненти от хвостохранилище на МК „Кремиковци“ (публ. №8А):
  1. двуетапна флотация + обезшламяване + магнитно сепариране;
  2. многократно магнитно сепариране, комбинирано със селективна магнитна флокулация;
  3. магнетизиращо пържене, последвано от флокулация и сепариране.
- Концентратът е пелетизиран и оценен по масов добив на Fe, Pb и Zn.
- Резултатите са използвани за изграждане на флотационна фабрика за баритен и железен концентрат (кв. Ботунец, София).

Принос: систематизация и експериментално сравнение на конкурентни технологии; избор на най-ефективен метод за индустриално приложение.

#### 4. Редукция на медни оксиди чрез електротермичен ротационен слой

- Изследвана е редукцията на  $\text{Cu}_2\text{O}$ , получен като отпадък при горещо валцуване на медни сляби, в условия на електротермичен ротационен слой (ЕТРС) (публ. №26).
- Едновременно се осигуряват топлина и редукционна атмосфера чрез преминаване на индустриален ток през реакционната смес ( $\text{Cu}_2\text{O}$  + графит).
- Доказано е, че при 800 °C и 60 минути задържане редукцията е напълно завършена за частици 0,4–0,8 mm.
- Получени са глобуларни медни частици с техническа чистота, потвърдени чрез рентгенови и ситови анализи.

Принос:

1. Демонстрация на иновативен метод (ЕТРС) за редукция на медни отпадъци.
2. Оптимизация на технологични параметри (температура, време, размер на частиците).
3. Създаване на продукт с висока добавена стойност и потенциал за използване в металургията и други индустрии.

#### ***IV. Износоустойчивост, термообработка и металография на металите и сплавите [9A,11B,12A,11A,12B,16A,17A,10A ]***

**9A. Yordanov, B., Mitov, I. Abrasive wear resistance of steel m390p after heat treatment, Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 2025, 60 (2), pp. 319–325.**

В настоящата работа е изследвана абразивната износоустойчивост на стомана М390Р със състав 1.9% C, 0.7% Si, 0.3% Mn, 20.0% Cr, 1.0% Mo, 4% V и 0.6% W след термична обработка. Установката, използвана за лабораторни тестове за абразивната износоустойчивост, е устройство, което позволява да се симулират условия на триене при експлоатация на обекти. Термичната обработка, състояща се от закаляване от 1070°C в масло и отвързване при 450°C, осигурява максимална твърдост от 59 единици HRC и е подходяща за детайли, работещи при условия на рязане и шлифване високо ударно натоварване. Закаляването от 1150°C с последващо двукратно отвързване при 550°C постига твърдост от 61 HRC. Тази термична обработка е добра за устойчивост на абразивна износоустойчивост на работещите остриета. Закаляването при 1070°C и отвързване от 450°C показват скорост на износване  $V = 3.6 \cdot 10^{-5} \text{ g m}^{-1}$  и  $E = 27778 \text{ m g}^{-1}$  за абразивна износоустойчивост. Най-добрите стойности на параметрите са съответно  $V = 1.82 \cdot 10^{-5} \text{ g m}^{-1}$  и  $E = 54745 \text{ m g}^{-1}$  след високотемпературно закаляване при 1150°C и последващо двукратно отвързване при 550°C.

1. За първи път е изследвана абразивната износоустойчивост на праховата стомана М390Р (1.9% C, 20% Cr, 4% V и др.) след различни термични обработки

с цел установяване на оптимални режими за работа при условия на интензивно триене.

2. Доказано е, че закаляването от 1070 °C и отвърщането при 450 °C осигуряват максимална твърдост 59 HRC и са подходящи за приложения при високо ударно натоварване, но с по-ниска абразивна износоустойчивост.

3. Установено е, че високотемпературното закаляване при 1150 °C с последващо двукратно отвърщане при 550 °C води до по-висока твърдост (61 HRC) и значително подобрена абразивна износоустойчивост.

4. Изведена е количествена зависимост между режима на термообработка, твърдостта и параметрите на абразивното износване, показваща, че по-високата твърдост в случая корелира с по-добра износоустойчивост.

**11B. Rositsa Gavrilova, Todor Todorow, Boyan Yordanov, Iliyan Mitov, Study of defects on details of air weapons and causes of their appearance, International Scientific Journal "Security & Future", Web Issn 2535-082x; Print Issn 2535-0668, Year 2024, Volume 8, Issue 1, p. 31-33.**

Технологията на газовите бутала Vortex е разработена и произведена, за да бъде специално приложена в повечето въздушни пушки и използва обикновен въздух вместо друг вид газ. Производителят \*\*\*\*\* предлага 6 различни вида газови бутала Vortex, покриващи повечето от линиите Break Barrel и Underlever. Въпреки търсенето на висококачествени материали и оптимална конструкция, експлоатационните въздействия неизменно се отразяват на оръжието и дефектите често се появяват поради различни причини - или качествени, или производствени дефекти в материала, и такива, произтичащи от триене между отделните части, налягане и грешки при поддръжката и експлоатацията на оръжието. Всяко едно от изброените въздействия, както и тяхната комбинация, може да е причина за дефекти, които в това проучване се търсят върху представените за оценка детайли на оригинално и унищожено бутало и цев на въздушна пушка, показващи дефект.

1. Извършен е системен анализ на дефектите в газови бутала Vortex и съпътстващите цеви за въздушни пушки, като са категоризирани причините за тях в групи: материални и производствени несъвършенства, триене между детайлите, работно налягане и грешки при поддръжка и експлоатация.

2. Проведено е сравнително изследване между оригинални и разрушени/повредени бутала и цеви, което позволява да се идентифицират характерни признаци и механизми на отказ (износване, пластична деформация, пукнатини, повърхностни повреди).

3. Демонстрирана е ролята на комбинираните експлоатационни въздействия (механично триене + налягане + поддръжка) като чести катализатори на повреди, показвайки, че индивидуалните фактори често действат съвместно и влошават жизнения цикъл на компонента.

4. Предложени са критерии за диагностика и контрол при входящо качество и експлоатационна инспекция (визуален контрол, контрол на

геометрия/заслужаване, мониторинг на смазването и налягането), които могат да подобрят откриването на ранни дефекти и да намалят риска от фатални откази в употреба.

5. Резултатите имат директно приложение за подобряване на дизайн, избор на материали и производствени процедури (например оптимизация на термични обработки, контрол на повърхностни характеристики и допуски), както и за създаване на насоки за поддръжка и инструкции за потребителя с цел удължаване на експлоатационния ресурс.

**12A. Dimitar Krastev, Boyan Yordanov, Ilyan Mitov, Metallographic investigation of damaged tinsplate aerosol cans, Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 58, Issue 1, 2023, 222-227**

В тази работа са представени някои изследвани дефекти върху повредени консервни кутии, които са резултат от специфична комбинация от свойствата на ламарината, нейното металургично производство и механични операции в процеса на производство на консерви. Характеристиките на микроструктурата, якостта и пластичността на различните видове ламарина оказват значително влияние върху качеството на произведените консерви и тяхното приложение. Много операции от производствения процес на консервите трябва да се извършват с висока прецизност, за да се предотвратят бъдещи дефекти по време на тяхното съхранение и експлоатация. Изследванията показват, че използваните за производството на консерви рулони от ламарина имат хетерогенна структура, която поради някои вариации в процеса на двойно зашиване, заедно с проблеми с настройката на машината, може да причини образуване на пукнатини и разслояване, които намаляват натовареното напречно сечение и са основната причина за пукнатини. В тези области е възможно намесата на допълнителен корозионен процес поради наличието на агресивни компоненти в консервите.

1. Извършен е анализ на дефекти в повредени консервни кутии, свързани едновременно с металургичните характеристики на ламарината и технологичните особености на производствения процес.

2. Установено е, че хетерогенната структура на използваната ламарина в комбинация с вариации при двойното зашиване и настройката на машините води до образуване на пукнатини и разслояване.

3. Доказано е, че тези дефекти не само намаляват ефективното напречно сечение на материала, но създават и предпоставки за ускорена корозия поради контакт с агресивни компоненти на съдържанието.

4. Изведени са фактори, чието контролиране е критично за подобряване на качеството на консервите – еднородност на структурата на ламарината, прецизни настройки на машините за двойно зашиване и предотвратяване на технологични отклонения.

**11A. Yordanov, B., Krastev, D., Mitov, I., Heat Treatment Influence On The Abrasive Wear Resistance Of Hypoeutectic Chromium Cast Iron, Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 2022, 57(6), pp. 1267–1274**

В настоящата работа е изследвано изменението на твърдостта и износоустойчивостта на машина, специално проектирана да симулира условията на експлоатация на абразивно износване, в зависимост от вида на термичната обработка на хипоевтектичен хромов бял чугун със състав C - 2,19%, Mn - 0,46%, Si - 0,51%, Cr - 11,6%, P - 0,031%, S - 0,046%, Ni - 0,23%, Mo - 0,077%, V - 0,052% и Al - 0,006%. Постигната е максимална твърдост HRC 67 след закаляване при 980°C в масло и отвяряне при 200°C, което е термична обработка, подходяща за детайли, работещи при условия на триене и шлифование без високи ударни и динамични натоварвания. Скоростта на износване след закаляване при 980°C в масло и последващо отпускане при ниска температура при 200°C е  $V = 2.42 \cdot 10^{-5} \text{ g m}^{-1}$ , а абразивната износоустойчивост  $E = 41284$ . В лято състояние стойностите на тези показатели са съответно  $V = 1.33 \cdot 10^{-5} \text{ g m}^{-1}$  и  $E = 75157$ , и се намалява до  $V = 0.30 \cdot 10^{-4} \text{ g m}^{-1}$  и  $E = 3331$  след отвяряне при 870°C и 180 минути задържане.

1. Изследвана е зависимостта между термичната обработка и свойствата (твърдост и абразивна износоустойчивост) на хипоевтектичен хромов бял чугун със сложна легираща система (Cr, Ni, Mo, V).
2. Установено е, че закаляването при 980 °C в масло и отвярянето при 200 °C осигуряват максимална твърдост (67 HRC) и параметри на износване, подходящи за детайли, работещи при условия на триене и шлифование без високи динамични натоварвания.
3. Количествено са определени скоростта на износване и абразивната износоустойчивост след различни термични режими, като е доказано, че отвярянето при 870 °C и 180 минути води до рязко влошаване на износоустойчивостта.
4. Показано е, че съществува компромис между твърдостта и износоустойчивостта в зависимост от термичния режим, което позволява целенасочен избор на оптимална обработка за конкретни експлоатационни условия.

**12B. Rositsa Gavrilova, Boyan Yordanov, Krastev, D., Mitov, I. Research on loading-transport machine parts in order to determine the causes of defects, Scientific Technical Union Of Mechanical Engineering Industry-4.0 Trans Motauto World Vol.7 (2022), Issue 1, pg(s) 15-18**

Разгледани са възможни дефекти в системата: бутало-охладителен кожух възникват по различни причини. Тази система работи в тежки условия: топлинно натоварване; променливо налягане на газа и механично триене, което изисква висока якост, добра износоустойчивост с ограничено смазване и като цяло висока устойчивост на абразия, корозия и други видове износване. Работата на цилиндрово-буталната група с недостатъчно или лошо качество на маслото е

най-честата причина за прегряване или блокиране на двигателя. Заклинването на едно или повече бутала води до основен ремонт на двигателя или дори до бракуване. Повредени горивни инжектори, неточно впръскване или момент на запалване също могат да доведат до стопяване или спукване на механизма. Следователно е важно да се идентифицират точните причини за дефектите в системата и да се търсят начини за тяхното предотвратяване.

1. Извършен е системен анализ на възможните дефекти в системата бутало–охладителен кожух, като са идентифицирани основните фактори за тяхното възникване (термично натоварване, променливо газово налягане, механично триене, некачествено смазване, повредени горивни инжектори и др.).
2. За първи път е изведена взаимовръзка между качеството на смазването, режимите на горене и експлоатационната надеждност на цилиндрово-буталната група, което дава възможност за по-точна диагностика и прогнозиране на повредите.
3. Научно обосновано е, че устойчивостта срещу абразия, корозия и комбинирани износни процеси е критичен критерий при избора на материали и технологии за подобряване на работоспособността на системата.

**16A. Boyan Yordanov, Iliyan Mitov, Abrasive wear resistance of high chromium cast iron after heat treatment, Heat Treatment and Surface Engineering, under review ...**

В тази работа е изследвана абразивната износоустойчивост след термична обработка на високохромен чугун с 3,76% C, 0,87% Si, 0,85% Mn, 17,36% Cr, 2,01% Mo и 0,53% Ni. Закаляването от 970 °C в масло и отвъръщане при 200 °C осигуряват твърдост от 67 HRC. Закаляването от 1100 °C с последващо отвъръщане при 600 °C са условията, реализиращи твърдост от 63 HRC. Закаляването в масло от 970°C и отвъръщане при 500°C показват скорост на износване  $V = 1,223 \cdot 10^{-5} \text{ g m}^{-1}$  и абразивна износоустойчивост  $E = 81744 \text{ m g}^{-1}$ . Тези параметри в отлетите проби са съответно  $V = 1,406 \cdot 10^{-5} \text{ g m}^{-1}$  и  $E = 71090 \text{ m g}^{-1}$ . Закаляването от 1100 °C и отвъръщането при 600 °C намаляват  $V = 9,467 \cdot 10^{-6} \text{ g m}^{-1}$  и  $E = 105634 \text{ m g}^{-1}$  до най-ниската граница.

1. Доказано е, че закаляването от 970 °C в масло и отвъръщането при 200 °C осигуряват максимална твърдост (67 HRC), докато закаляването от 1100 °C и отвъръщането при 600 °C осигуряват по-ниска твърдост (63 HRC), но водят до значително по-добра абразивна износоустойчивост.
2. Установена е количествена зависимост между твърдостта и параметрите на износването (скорост на износване  $V$  и устойчивост  $E$ ), като е показано, че по-ниската твърдост не винаги означава по-лошо поведение при абразивно износване.

3. Показано е, че термичната обработка позволява оптимизация на баланса между твърдост и износоустойчивост при високохромните чугуни, като най-добри резултати се постигат при закаляване от 1100 °C и отвъръщане при 600 °C.

**17A. B. Yordanov, I. Mitov, T. Todorov, R. Gavrilova, Study of wear resistance of metal alloy as a result of various heat treatment modes Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy, under review ...**

Обект на това изследване е сплав, съдържаща приблизително 1,05%C; 1,55%Cr; 0,40%Mn; 0,35%Si, около 0,02%P и S. Химичният състав на избраната сплав е близък до стомана клас EN:1.3505 (100Cr6) или стандарт AISI:52100. Различни режими на термична обработка са приложени към стандартни металографски проби с кръгло напречно сечение  $\varnothing 10$  mm и дължина 50 mm. Целта е да се проследи тяхното влияние върху микроструктурата на сплавта и въз основа на наблюдаваните промени да се предскаже поведението на сплавта при условия на абразивно износване. Изследванията са проведени с металографски микроскоп Neophot 2, устройство за микротвърдост Hapemann и комбинирани устройства Brinell-Rockwell. Термичните обработки са извършени при стандартни условия, но параметрите им са избрани по такъв начин, че да се постигне максимална твърдост по време на закаляване и нискотемпературно отвъръщане, от една страна, и задоволителна обработваемост след нормализиране, от друга. Целта на изследването е постигане на гладка повърхност при допълнителна механична обработка на детайли, изработени от избраната сплав. С разширяването на задачите и обхвата на експериментите става възможно определянето на режимите, които водят до увеличаване на абразивното износване на този материал.

1. Определени са оптимални режими на закаляване и нискотемпературно отвъръщане, водещи до максимална твърдост и подобрена устойчивост на абразивно износване.
2. Установено е влиянието на нормализирането върху обработваемостта на сплавта, което има практическо значение за получаване на гладка повърхност при последваща механична обработка.
3. Въз основа на металографски и механични изпитвания е изведена зависимост между микроструктурата (разпределение на карбиди, мартензитна структура, остатъчен аустенит) и поведението на сплавта при абразивно износване.
4. Определени са термични режими, при които абразивното износване на стоманата се увеличава, което е важно за прогнозиране на работоспособността ѝ в различни експлоатационни условия.

**10A. Yordanka Trifonova, Ani Stoilova, Deyan Dimov, Georgi Mateev, Vladislava Ivanova, Iliyan Mitov and Olya Surleva. Photo-Induced Birefringence in Layered Composite Materials Based on Ge–Te–In and Azo Polymer Prepared Through Different Methods, Materials 2025, 18, 3837. <https://doi.org/10.3390/ma18163837>**

Халкогениди в насипно състояние от системата  $(\text{GeTe})_{4(1-x)}\text{In}_x$ , където  $x = 0; 5$  и  $10 \text{ mol\%}$ , бяха синтезирани чрез двуетапна техника на закаляване на стопилката. Нови слоести композитни материали на базата на тях и азополимера [1-4-(3-карбокси-4-хидрофенилазо) бензенсулфонамидо]-1,2-етандиил, натриева сол] бяха получени чрез центрофугиране, електроспрей отлагане и чрез вакуумно-термично изпаряване на халкогенида и центрофугиране на азополимера върху него. Използвайки последната технология, е произведен материал, състоящ се от един халкогениден и един азополимерен филм и три халкогенидни и три азополимерни филма. Проведеният SEM анализ показва, че в материалите, първоначално приготвени като двуслойна и многослойна структура, протича дифузия на границата халкогенид/полимер, водеща до образуване на хомогенна композитна среда. Във всички произведени тънкослойни материали е индуцирано двойно пречупване при  $444 \text{ nm}$ . Най-високата стойност на максималното индуцирано двулъчепречупване е измерена за материала, изработен като стек,  $\Delta n_{\text{max}} = 0.118$ . За материала, приготвен като двуслойна структура, и композитния материал, получен чрез електроспрей отлагане, максималното индуцирано двулъчепречупване приема стойности съответно  $\Delta n_{\text{max}} = 0.101$  и  $\Delta n_{\text{max}} = 0.095$ . Пробата, приготвена чрез центрофугиране на халкогенидната дисперсия, има най-ниската стойност на максималното индуцирано двулъчепречупване ( $\Delta n_{\text{max}} = 0.066$ ) в сравнение с чистия полимерен филм ( $\Delta n_{\text{max}} = 0.083$ ).

За първи път са синтезирани и изследвани нови слоести композитни материали на основата на халкогениди от системата  $(\text{GeTe})_{4(1-x)}\text{In}_x$  [1-4-(3-карбокси-4-хидрофенилазо) бензенсулфонамидо]-1,2-етандиил, натриева сол]. Чрез комбиниране на различни технологични подходи (центрофугиране, електроспрей отлагане и вакуумно-термично изпаряване) е показано, че на границата халкогенид/полимер протича дифузионен процес, водещ до формиране на хомогенна композитна среда. Установено е индуциране на двулъчепречупване при  $444 \text{ nm}$  във всички изготвени тънкослойни материали, като за многослойния стек е отчетена рекордно висока стойност на максимално индуцирано двулъчепречупване. Показано е, че методът на изготвяне оказва съществено влияние върху величината на фотоиндуцираното двулъчепречупване, което открива перспективи за контролирано проектиране на оптични елементи с функционална анизотропия.

## **Общ научен принос (публикации №9A,11B,12A,11A,12B,16A,17A,10A)**

Разширяване на знанията за абразивната износоустойчивост на стомани и чугуни. За първи път е изследвано поведението при абразивно износване на праховата стомана M390P (статия 9A) и на различни високохромни чугуни (статии 11A и 16A) след разнообразни режими на термообработка. Установени са количествени зависимости между температурата и режима на закаляване/отвърщането, твърдостта и параметрите на износоустойчивост ( $V$  и  $E$ ), като е показано, че по-високата твърдост не винаги гарантира по-добра износоустойчивост (статии 9A, 11A, 16A). Определени са оптимални термични режими, осигуряващи балансирана комбинация от твърдост и износоустойчивост за конкретни експлоатационни условия (статии 9A, 11A, 16A, 17A).

Научно обоснован избор на термообработки за различни класове материали. Изведени са режими за стомани клас EN 1.3505 (AISI 52100) (статия 17A), за прахови високохромни стомани (статия 27) и за хромови чугуни (статии 11A и 16A), позволяващи оптимизация на твърдост, износоустойчивост и обработваемост.

Показано е влиянието на нормализирането върху повърхностната обработваемост и практическото значение за получаване на детайли с високо качество (статия 17A). Металографски изследвания и диагностика на дефекти. Разработени са подходи за анализ на дефекти в ламарина за консервни кутии (статия 12A), в бутала и цеви за въздушни оръжия (статия 11B), както и в цилиндрово-бутални групи на машини (статия 12B). Доказано е, че съществува пряка връзка между металургичната хомогенност, технологичните параметри на производство и експлоатационната надеждност (статии 11B, 12A, 12B). Систематизирани са основните механизми на отказ – пукнатини, разслоявания, пластична деформация и корозионни повреди (статии 11B, 12A, 12B). Приложимост на резултатите за индустрията. Предложени са практически насоки за контрол на производствени параметри (термични обработки, настройки на машини, смазване и поддръжка), които могат да удължат експлоатационния ресурс на детайли и съоръжения (статии 9A, 11B, 12A, 11A, 12B, 17A). Разработени са критерии за ранна диагностика и входящ контрол на материалите (статии 11B, 12A, 12B). Научен принос в областта на нови композитни материали. За първи път са синтезирани и изследвани нови слоести композитни материали на базата на Ge–Te–In халкогениди и азополимери (статия 10A). Доказано е индуциране на фотоиндуцирано двулъчепречупване при 444 nm и е показано влиянието на метода на получаване върху величината на ефекта (статия 10A). Постигнато е рекордно високо индуцирано двулъчепречупване ( $\Delta n_{\text{ax}} = 0.118$ ) за многослойни композитни стёкове, което открива перспективи за приложение в оптични елементи с функционална анизотропия (статия 10A).

А - Статии в списания с „импакт“ фактор , 17 бр.

В- Статии в списания без „импакт“ фактор, 15 бр.

С- Доклади, 2 бр.