

ISSN: 2603-4018
eISSN: 2603-4646

INTERNATIONAL JOURNAL

for science, techniques and innovation
for non-destructive inspection
and material evaluation for the industries



NDT DAYS

Volume V / Issue 1

Year 2022

Published by Bulgarian Society for Non-Destructive Testing
Member of ICNDT and EFNDT

International Journal “NDT Days”

ISSN: 2603-4018, eISSN: 2603-4646

PUBLISHER: Bulgarian Society for NDT (BG S NDT)

FOUNDERS: Bulgarian Society for NDT, Institute of Mechanics at the Bulgarian Academy of Sciences

The scope of the journal is aimed to all methods and techniques of non-destructive and destructive testing, as well as evaluation of materials and structures in all areas of technical activities. It is an opportunity to publish research and development results, together with good practices and recommendations for standardization.

Submitted manuscripts should not have been published previously and should not be currently under consideration for publishing elsewhere. They should be prepared in accordance with the Instructions for Authors, published on the journal site.

The articles appearing in the Journal are indexed in NDT Net.

THEMATIC FIELDS

1. Non-destructive inspection methods

- Non-destructive testing methods (ultrasonic, penetrant, magnetic, visual, infrared thermography, radiography, leak, etc.);
- Non-destructive and destructive inspection of the integrity, structure and physico-mechanical properties of materials;
- Application of non-destructive and destructive testing methods for inspection in energy, transport, engineering, construction, chemical industry, etc.;
- Structural health monitoring of equipment and structures with non-destructive testing methods (vibration diagnostics, acoustic emission, infrared thermography, etc.);
- Advanced non-destructive testing methods and techniques (phased array, TOFD, computer and digital radiography, tomography, automatic system for inspection, shearography, etc.);
- Training, certification, accreditation and standardization in scope of non-destructive inspection and conformity assessment of materials, equipment and structures.

2. Techniques for material processing and condition monitoring of equipment

- Design and construction;
- Life cycle condition monitoring;
- Material sciences;
- Manufacturing, exploitation, maintenance and repair;
- Innovation methods and techniques for modernization;
- Metal casting, welding, soldering bonding, machining, surface treatment;
- Mathematical modeling of technological processes;
- Load treatment and deformation;
- Training.

OFFICIAL LANGUAGES: Bulgarian, English and Russian

EDITORIAL BOARD

EDITOR IN CHIEF

Yordan MIRCHEV, Institute of Mechanics at the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria

DEPUTY EDITOR IN CHIEF

Emil MANOACH, Institute of Mechanics at the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria

SCIENTIFIC SECRETARY

Krassimira IVANOVA, Institute of Mathematics and Informatics at the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria

MEMBERS

Victor CHIRIKOV, Technical University of Varna, Varna, Bulgaria

Pavel CHUKACHEV, Multitest Ltd., Varna, Bulgaria

Dimitar DIMOV, University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, Sofia, Bulgaria

Hristo DRAGANCHEV, Technical University – Varna, Varna, Bulgaria

Grigoriï DYMKIN, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg, Russia

Borislav GENOV, Defence Institute “Prof. Tsvetan Lazarov”, Sofia, Bulgaria

Ivan GEORGIEV, Institute of Information and Communication Technologies at the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria

Janez GRUM, University of Ljubljana, Slovenia

Yonka IVANOVA, Institute of Mechanics at the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria

Vasil KAVARDJIKOV, Institute of Mechanics at the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria

Ivan KOLAROV, Todor Kableshkov University of Transport, Sofia, Bulgaria

Vladimir KOSTIN, M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences; Yekaterinburg, Russia

Vadim KOVTUN, Gomel Branch of the University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Rep. of Belarus, Gomel, Belarus

Sergey KRIVOSHEEV, Peter the Great Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia

Svetozar MARGENOV, Institute of Information and Communication Technologies at the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria

Boris MIHAYLOV, SPECTRI Ltd, Sofia, Bulgaria

Giuseppe NARDONI, International Academy on NDT, Brescia, Italy

Amos NOTEA, Technion, Israel Institute of Technology, Haifa, Israel

Hristo PIROVSKI, Technical University of Varna, Varna, Bulgaria

Anna POVOLOTSKAYA, Institute of Engineering Science, Ural Branch of the Russian Academy of Science, Ekaterinburg, Russia

Vladimir PROHOROVICH, ITMO University, Saint Petersburg, Russia

Nikolay RAZYGRAEV, State Reseach Center of Russian Federation CNIITMASH, Moscow, Russia

Vladimir SERGIENKO, V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of the NAS of Belarus”, Gomel, Belarus

Yossi SHOEf, Israeli National Society for NDT, Tel Aviv, Israel

Marin STOYCHEV, Institute of Metal Science, Equipment, and Technologies with Hydro- and Aerodynamics Centre “Acad. A. Balevski”, Sofia, Bulgaria

Maciej SULOWSKI, AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland

Alexey TADJIBAEV, Federal State Educational Establishment “PEIPK”, Saint Petersburg, Russia

Vasilii TITKOV, Peter the Great Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia

Vladimir TROITSKY, E. O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine

Valeriy VENGRI NOVICH, Institute of Applied Physics of the NAS of Belarus, Minsk, Belarus

EDITORIAL OFFICE:

International Journal “NDT Days”
Institute of Mechanics, Bulgarian Academy of Sciences
Acad. G. Bonchev Str., Block 4, Sofia – 1113, Bulgaria
phone: +359 2 9797120
e-mail: ndtdays@abv.bg
<http://www.bg-s-ndt.org/journal.html>

Publishing of Volume V (2022) of the International Journal “NDT Days” is partially financed by NPP Kozloduy and TU-Varna under the project HФ6/2022.

Уважаеми колеги,

В списанието са публикувани изследвания на доклади, включени в програмата на ежегодните Дни на безразрушителния контрол (NDT Days), както и на публикации, извън представените на този научен форум.

В конференцията NDT Days 2022 бяха регистрирани присъствено 85 участника от България и чужбина. Бяха представени 40 доклада и презентации и 23 постерни доклада. Съпътстващи събития по време на проявата бяха XXXVII международна конференция „Дефектоскопия“ 2022, кръгла маса „Развитие на стандартизацията по безразрушителен контрол“, заседание на Схемния комитет към СЦП по КБР, заседание на УС на ННТДД, Ден на дефектоскописта и тематични секционни доклади.

По време на „Дни на БК 2022“ бяха отбелязани две годишнини:

- 60 години от създаването на ННТДД;
- 50 години от внедряването на главни вълни за ултразвуков контрол на метала.

По повод 60 години ННТДД на откриването на конференцията бе представен поздравителен адрес от Министерството на икономиката и индустрията. В Деня на дефектоскописта зам. председателят на дружеството маг. инж. Райчо Димитров представи доклад за развитието на ННТДД от неговото създаване през 1962 год.

Отбелязването на 50 години от първото приложение на главни вълни за ултразвуков контрол на метала бе отбелязано с пленарен доклад, представен от един от първите в света специалисти по внедряването на тези вълни за ултразвуков контрол, проф. Николай Разиграев.

Съществена част от Деня на дефектоскописта бе посветена в памет на почетния председател на ННТДД и дългогодишен ръководител на СЦП по КБР – ст.н.с. д-р инж. Александър Данаилов Скордев, който загубихме на 29.03.2022 г. Спомени за живота на му бяха представени от доц. д-р Й. Мирчев.

По време на Деня на дефектоскописта с мнозинство се взе решение NDT Days 2023 да се проведат съвместно с Деня на дефектоскописта отново в Созопол, в Школата на БЧК, от 12 до 16 юни 2023 г.

Списанието „NDT Days“ се издава от ННТДД с подкрепата на международна редакционна колегия. Списанието се представя в електронен формат на сайта www.bg-s-ndt.org/journal. Сайтът осигурява достъп до всички публикации, които са свободно достъпни за четене. Статиите в списанието се публикуват на български, руски или английски и се подготвят съгласно изискванията, представени в условията за публикуване на сайта. Печатният вариант на списанието се депозира в Националната библиотека „Св. св. Кирил и Методий“ и Националната научно-техническа библиотека и се съхранява в Националния център по безразрушителен контрол към ННТДД в Института по механика на Българската академия на науките.

Представяме Ви петия том на списанието „NDT Days“. В него са публикувани резултатите от съвременни изследвания в областта на приложение на методите за безразрушителен контрол и разрушителни изпитвания, разработване и създаване на нови материали и апаратура.

Редакционна колегия на списание NDT Days



We are pleased to inform you that "NDT Days 2023" will be held from 12 to 16 June 2023 in Sozopol at the Red Cross Hotel.

All interested persons are invited to participate at the conference, and to contribute papers in oral or poster sections.

Manufacturers and suppliers of NDT instruments, software, literature and service providers are invited to present their products and innovations at the exhibition.

The NDT Days 2023 Agenda:

1. XXXVIII Conference "Defectosopia",
2. XXXIV Youth Training Session "Non-destructive testing of structure, physical and mechanical properties of materials",
3. Day of the Defectoscopist,
4. Seminar "NDT in railway",
5. Seminar "NDT in cultural heritage",
6. Round Table "Powder metallurgy",
7. Round Table "Standardization in NDT",
8. Round Table of Section "Business" of BGSNDT,
9. Round Table "Accreditation of laboratories and inspection bodies",
10. Poster session,
11. Exhibition of firms and business presentations.

More information about NDT 2023 can be seen on http://www.bg-s-ndt.org/NDT_Days

Table of Contents

Technical Project for Creating a Business Plan for the Construction of a Technological Line and a Plant for the Production of Yellow Pavers.....	7
Lyuben LAKOV, Krasimira TONCHEVA, Bojidar JIVOV, Marieta GACHEVA	
Технически проект за създаване на бизнес план за изграждане на технологична линия и завод за производство на жълти павега	
Любен ЛАКОВ, Красимира ТОНЧЕВА, Божидар ЖИВОВ, Мариета ГАЧЕВА	
Analysis of the Characteristics of Powder Self-Lubricant Composites by the Criteria of Antifriction, Wear Resistance and Strength.....	16
Vadim KOVTUN, Vladimir PASOVETS, Yordan MIRCHEV	
Technological Processes and Characteristics of Lighting Products Made of Ceramic Materials.....	23
Gergana MUTAFCHIEVA, Lyuben LAKOV, Mihaela ALEKSANDROVA, Gabriel PEEV, Dimo MIHAILOV, Bojidar JIVOV	
Influence of Homogenization on the Phase Composition of the Cast Cobalt Super-Alloy	29
Stoyan PARSHOROV	
Development of Gradient Acoustic Composites with Enhanced Sound-insulating and Sound-absorbing Properties	33
Sergey BUKHAROV, Victor KOZHUSHKO, Vladimir SERGIENKO, Alexander ALEXIEV, Roumen IANKOV, Anastasiya TULEIKA	
Dielectric Permittivity and Structure on Thin Ceramic Layers on Metal Surfaces	37
Mihaela ALEKSANDROVA, Bojidar JIVOV, Lyuben LAKOV, Vladimir BLASKOV, Yordan MARINOV	
Experimental Study of Butt-Welded Joint of High Strength Steel	42
Pavlin SHARBANSKI, Daniela GRIGOROVA	
Експериментално изследване на челно заварено съединение от високоякостна стомана	
Павлин ШАРБАНСКИ, Даниела ГРИГОРОВА	
Influence of the Gasifying Agent on the Biomass Gasification Process	48
Nadejda KAZAKOVA, Emil MIHAYLOV	
Real-time Remote Registration of Welding Parameters of TIG Process	52
Marina MANILOVA	
Дистанционно регистриране на параметрите на процеса при ВИГ заваряване в реално време	
Марина МАНИЛОВА	



Technical Project for Creating a Business Plan for the Construction of a Technological Line and a Plant for the Production of Yellow Pavers

Lyuben LAKOV, Krasimira TONCHEVA, Bojidar JIVOV, Marieta GACHEVA

Bulgarian Academy of Sciences, Institute of Metal Science, Equipment and Technologies with Hydro- and Aerodynamics Centre “Acad. Angel Balevski”, 67 “Shipchenski Prohod” Blvd,
1574 Sofia, Bulgaria, e-mail: krasiton4@abv.bg

Abstract

A technical project has been developed for the construction of a technological line and a plant (for the production of yellow pavers and other products), consisting of several sectors: 1st industrial unit for preparation of the materials, 2nd industrial unit for manufacturing of pavers, paving slabs and others, repair area and one warehouse for finished products. The necessary facilities for building the technological line for the operation of the plant are presented.

Keywords: yellow pavers, technological line, industrial units

Технически проект за създаване на бизнес план за изграждане на технологична линия и завод за производство на жълти павета

Любен ЛАКОВ, Красимира ТОНЧЕВА, Божидар ЖИВОВ, Мариета ГАЧЕВА

1. Увод

Емблематичната за София улична настилка от т. нар. „жълти павета“ (обявени за културна ценност) е изградена предимно в периода от 1907 до 1908 г., на обща площ от около 60 000 m². Производството на паветата е осъществено в началото на ХХ-ти век в Австро-Унгария от предприятието „Пещенско дружество, каменовъглена мина и тухларница“. В България изпълнител на поръчката, вносител на изготвената продукция и представител на производителя е Българското индустриално керамично дружество „Изида“ с фабрика на гара Новоселци. В процеса на ежедневната експлоатация и амортизация на настилката възниква необходимостта от регулярно осигуряване на резервни партии павета [1-3] за извършване на периодични ремонтни дейности на засегнатите участъци. През изминалите десетилетия някои от уличните площи с първоначално изградена настилка от „жълти павета“ са подложени на основен ремонт чрез полагане на друг тип настилка, поради изчерпване на наличните резерви. Тази тенденция създава очевидна опасност от постепенно обезличаване на автентичния исторически облик на целия архитектурен ансамбъл на площад „Народно събрание“ и прилежащите улични трасета. Поради това актуален проблем представлява създаването на благоприятни условия и възможности за организиране на съвременно производство на износоустойчиви и естетични реплики на оригиналната настилка [1-11]. Липсата на значителен интерес сред съществуващите предприятия за разгръщане на производство на „жълти павета“ се обуславя от необходимостта от съществени инвестиции свързани с изграждането и оборудването на нов производствен участък, наемането и обучението на допълнителен персонал и провеждането на поредица лабораторни и енергоемки

промишлени експерименти за уточняване на оптималните технологични параметри на производствения процес.

Основен методичен подход при разработката на ефективни **конкурентни** продукти в различни тематични области [9-17] представлява осъществяването на актуално предварително проучване и пълноценни експериментални изследвания. Идеята за проектиране и изграждане на опитен завод, оборудван с технологична линия за производство на определен асортимент от жълти павеа и плочки се базира на анализирани достъпни данни [2-11,18-21] и съществуващия опит [1-9,20-23], получен при извършената дългогодишна изследователска дейност и изпълнението на научно-изследователски проект по обществени предизвикателства, финансиран от „Фонд научни изследвания“ към Министерството на образованието [1]. При проведената значителна по-обем лабораторна дейност са изследвани поредица рецептурни състави и ролята на технологичния режим за формиране на механичните, физикохимичните и цветови характеристики на образците [2-9,20,22,23]. Изготвени са серии експериментални прототипи чрез използване на различни технологични методи: формоване от полусуха и пластична маса в метални матрици и шликерно леене в гипсови калъпи. За целите на разработката като най-целесъобразен и рентабилен подход е възприето формоването от пластична маса и употребата на суровини, добити единствено от находища на територията на страната. При полупромишлени условия са получени прототипи на павеа [2-5] с еквивалентен жълт цвят (доказан по-системата на Munsell) и идентични размери с предоставени на отговорно пазене сравнителни еталони („жълти павеа“ от оригиналната историческа настилка в центъра на София). При съпоставка на еталоните и изготвените експериментални образци са установени едни и същи фази със сходен процентен състав (предимно $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ и $\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$), като прототипите на експерименталните образци имат превъзхождащи и по-високи комплексни експлоатационни показатели [4,5], съобразни с изискванията към такъв тип настилки и действащия европейски стандарт. Предстои изготвянето на ограничена експериментална партида прототипи, предвидени за реставрация на уличен участък (до 20 m²) с амортизирана автентична настилка, което би позволило наблюдение и изследване на образците при реални експлоатационни условия. Въз основа на получените допълнителни експериментални данни е възможно окончателното оформяне на необходимия технологичен регламент за производство. Разработеният технологичен подход е съобразен със съществуващите съоръжения и оборудване, характерни за предприятията от силикатната промишленост и може да бъде адаптиран към специфичния състав на суровините от различни находища и конкретните производствени мощности на отделни производители (при наличие на инвеститорски интерес).

Същевременно като алтернативна възможност е разработена оригинална технология за производство на изделия (павеа) от петрургичен материал, за които е получен патент [24] със сфера на действие България.

Предвижда се да бъде изготвен Бизнес план (за опитен завод с малка технологична линия), осъществяващ се на 2 етапа: 1-ви етап изпитване на технологията за производство в реални условия и 2-ри етап изпитване на цялата технологична линия. Разработен е технически проект с подбор на основните производствени и икономически параметри за работа, уточняване на необходимите суровини, технологични методи, оборудване и съоръжения. При извършените изчисления е определена предполагаемата себестойност на изделията и производствена заводска цена с 12 % рентабилност, като крайната пазарната цена се формира от търговската фирма, осъществяваща пласмента.

2. Основни възли на опитния завод

2.1. Идейна план схема и равнище на специализация

Представена е техническа разработка за изграждане на опитен завод със съсредоточаване на специализирана техника, наличие на технологична линия и обособени производствени участъци за изготвяне на разнообразни продукти: висококачествени реплики на т.нар. „жълти павета“, 4 допълнителни форми паважни елементи и тротоарни плочки в 2 разновидности (квадратни с размери 200x200x30 мм и втори вид със специфична форма). Изготвянето на планираните изделия в различни цветови варианти (чрез въвеждане на керамични пигменти), позволява разширяване на продуктовия спектър на производството и повишаване на неговата конкурентоспособност. При заявени значителни количества и доказана рентабилност при наличие на технологична възможност е допустимо изготвянето на партиди със специфични цветови характеристики. Основни възможности за приложение на продуктова гама представлява възстановяването на автентичното състояние на централната градска част на София и изграждането в други райони на столицата и различни градове на дълготрайни и естетични паважни настилки с разнообразно функционално предназначение: улични площи, велоалеи, тротоарни и площадни пространства, паркови и търговски алеи и редица други. При частично модифициране на разработените състави и технологичния процес е осъществимо производството на допълнителен асортимент продукти: цветни плочи за декоративна облицовка на сгради, разнообразни елементи за керамични мозайки, материали за футеровка на метални съоръжения, специални изделия за балистична защита на различни обекти (сгради, транспортна техника, плавателни съдове и др.) и други.

2.2 Специални изисквания

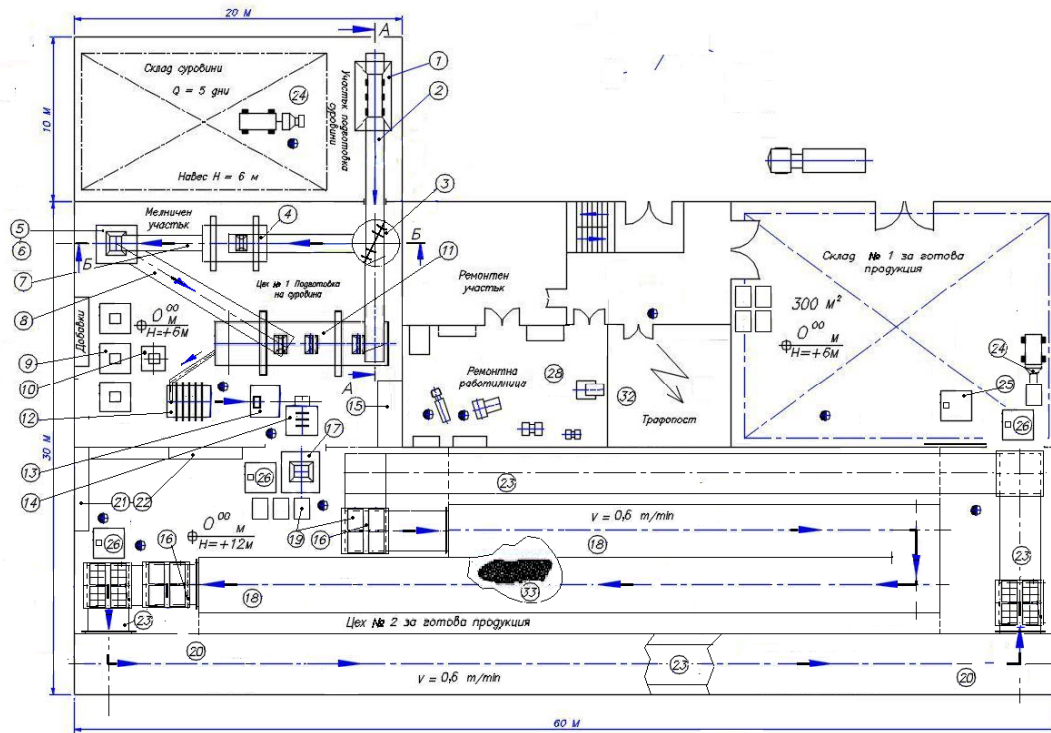
Провеждане на предвидения производствен процес на базата на технологични етапи, типични за силикатната керамична промишленост и осъществими в значителна степен със стандартното оборудване за бранша. Приложение на съоръжения с безопасна конструкция, които при функционирането си не отделят токсични и канцерогенни продукти.

2.3. Принципна технологична схема – чертежи и описание

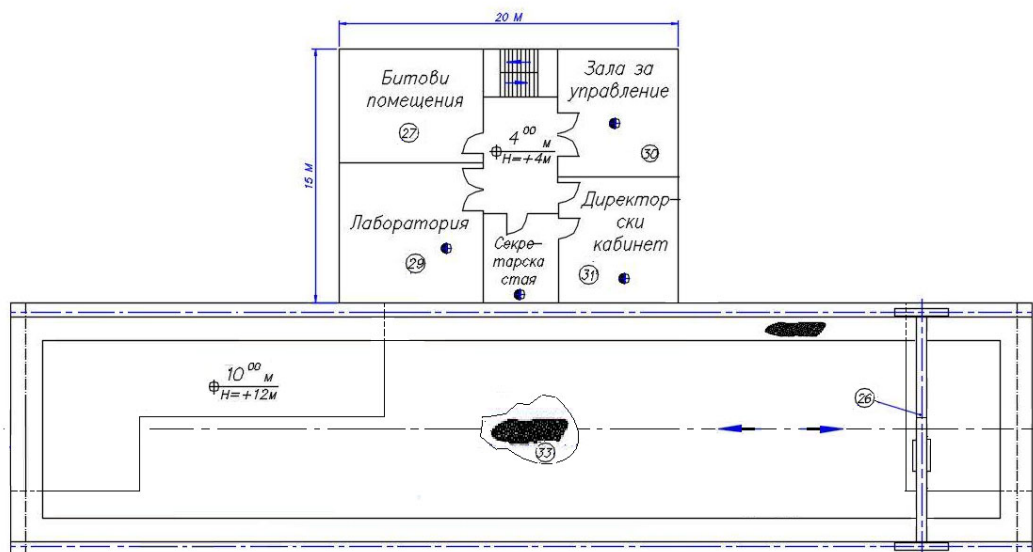
През първоначалния период от функциониране на завода се предвижда употребата като основен източник на суровина предимно находище „Александра“ (с. Ловец, област Търговище, България). Добитата със земекопна техника (багер) суровина (мергел) от разработваното находище се транспортира с тежкотоварни автомобили до производственото предприятие и се складира и съхранява на открито на обособени складови площи. Доставените отделни партиди суровина подлежат на входящ контрол, съобразно съществуващите стандартни лабораторни методики.

В цех № 1 се извършва необходимата първична технологична подготовка на суровините, изготвяне на шихтовите смеси и формовъчни маси. От приемателния бункер чрез система транспортъори материалите се отвеждат до комплекс от специализирани съоръжения за изпълнение на отделните технологични етапи. След обработка чрез дробилни машини и хомогенизиране, суровината (мергел и др.) се подава към смесител, където се въвеждат и предвидените други компоненти (по рецептурен състав) – смлян шамот, бяла глина с висока пластичност, модификатори и технологични добавки. Смления материал с определен гранулометричен състав се оводнява, досмила и хомогенизира в Хомогенизатор до водни колоидни дисперсни

системи с необходимите технологични параметри. Предложените план-схеми (фиг.1,2) са разработени за идеална площадка.



Фиг.1. Схема на цеховете в завод за производство на павета и плочки.



Фиг.2. Схема на цех – движение на Кран – робот – манипулатора поз. 26.

Получаването на необходимия шамот (в прахообразно състояние) се осъществява при термично третиране на подготвените количества суровина в пещ до 900°C, обработка на полученият продукт с дробилна машина и смилане в мелнично съоръжение до фракция под 100 µm.

Предвидените спомагателни материали се съхраняват в склада към цех № 1 и представляват полученият прахообразен шамот, бяла глина с висока пластичност, модификатори, оцветители (при необходимост) и други. При употреба материалите се претеглят и подготвят за въвеждане в Хомогенизатора посредством транспалетна количка, оборудвана с везна.

След формиране на хомогенна шликерна смес (с водно съдържание до 60 %) и последователна обработка чрез филтър преса, вакуум преса и екструдер получените порции пластична маса (с водно съдържание до 15-20 %) се транспортират към Цех № 2 за формоване на заготовки.

В цех № 2 от изготвените късове пластична маса чрез употреба на набор от метални матрици и преса за пластично пресоване се формоват заготовки. Получените полуфабрикати се подлагат на сушене в рамките на определен технологичен престой, като първоначално се нареждат (от служител или робот манипулатор) върху стелажни установки, разположена върху Сушилнята (поз. 18 и Пещта поз. 20). За повишаване на предварителната якост на заготовките процесът на сушене продължава в Сушилнята с дължина 76 метра (при циркулация на въздуха и температура до 200°C). При този технологичен етап стелажните установки с полуфабрикатите се придвижват в Сушилнята от колички (20 бр.) за определен интервал от време.

След приключване на сушилния процес получените образци се подлагат на термична обработка при максимални температурни стойности в интервала 1125–1145°C (при изделията с жълт цвят, идентичен с т.нар. „жълти павета“) и в температурния диапазон 1170–1190°C при продукти с други цветови характеристики. Чрез прилагане на специализиран технологичен режим изпичането се осъществява в Пещта (поз. 20) при създадено хомогенно температурно поле, като продуктите се подреждат (от работник или механична ръка) в капсули. Чрез хоризонтално релсово трасе след приключване на процеса на термична обработка количките с готовите изделия се придвижват към склада. Съобразно спецификата на използваните състави и планираните крайни експлоатационни показатели за различните категории изделия са разработени подробни режими за високотемпературно термично третиране, които определят състоянието и контролираното изменение на редица технологични параметри: скорости на повишаване и понижаване на температурата, междинни и окончателни изотермични задръжки, максимална температура, пещна атмосфера, характеристики на температурното поле в пещта и редица други.

На входа на склада е обособен участък за окачествяване и палетизиране на продукцията. Чемберосани, опаковани с полиетиленово фолио (или без него) с помощта на вътрешно заводски транспорт (кар 1t), готовите изделия на палети се складираат за съхранение (по партиди) в склад № 1, откъдето поэтапно се експедираат към търговската мрежа, отделни клиенти или директни потребители.

2.4. Титулен списък на машините и съоръженията

При разработване на проекта са заложили необходимите материални активи (табл.1,2,3) за функциониране на завода: поземлен терен, сграден фонд със специализирани съоръжения и оборудване, вътрешно заводски транспорт, системи за комуникация и управление, производствени, складови, сервизни, битови и други помещения и площи. При наличие на възможност се предвижда изграждането на производственото предприятие на терен в близост до базовото находище.

Табл. 1. Списък на необходимите площи за цеховете в завода.

Размери		А	В	Н	ниво
Вид помещение		м	м	м	
1. Цех № 1 Подготовка на суровините	Цех № 1				
1.1. Склад суровини		15	10	6	навес
1.2. Подготвителен участък		5	10	6	I ет.
1.3. Мелничен участък, подготовка шамот		3	20	6	I ет.
1.4. Участък за подготовка на шликер		4	20	6	I ет.
1.5. Участък за изготвяне на пластична маса		4	22,5	6	I ет.
2. Цех № 2 Получаване на готови изделия	Цех № 2	15	60	12	I ет.
2.1. Участък за формоване на заготовки		8	15	12	I ет.
2.2. Сушилнен участък		12,2	60	12	полуетаж
2.3. Участък за окончателна термична обработка		4,5	60	12	I ет.
3. Склад готова продукция	Към цех № 1 и 2	20	15	6	I ет.
4. Ремонтна работилница		6	10	4	I ет.
5. Ремонтен участък		6	9	6	I ет.
6. Трафопост		9	9	4	I ет.
7. Лаборатория		8	9	4	II ет.
8. Управление		15	7	3	II ет.
9. Битови помещения		7	9	3	II ет.
10. Секретарска стая и стълби		15	4	3	II ет.
11. Помпена станция (под трафопост)		9	9	3	мазе

Табл. 2. Списък на предвидените необходими съоръжения №. от 1 до 14 (цех № 1).

№	Цех № 1 Подготовка на суровини
	1.1. Склад суровина
1	Бункер захранващ с вибратор. Обем V = 5 куб.м.
2	Лентов транспортър за отвеждане на суровината към Хомогенизатор поз. 11 и към Колерганг поз. 3. Размери L=20 м, B=500 мм, v=15 м/мин, N=2,2 kW, с 2 бр. клапи.
	1.2. Подготвителен участък
3	Колерганг за раздробяване на суровината до размери 5-10 мм., D=3 м, N=7,5 kW
	1.3. Мелничен участък подготовка шамот
4	Пещ въртяща за термична обработка на сурова глина за изготвяне на шамот. Обща мощност N=15kW, n=20 об/мин., размери D=0,8 м, L=4 м, H=1,5 м.
5	Мелница тип вибрационна за натрошаване на изпечената глина. Производителност 1000 кг/час. N=5 kW. Размери на получената фракция под 100 μм, с обемно тегло 2 500 кг/куб.м.
6	Аспирационна уредба около мелница за шамот. N=2,5 kW.
7	Лентов транспортър за пренасяне на дребните частици от Колерганг поз.3 към Мелница поз. 5, обемно тегло 2800 кг/куб.м, размери B=500 мм, L= 18 м, N=2,2 kW
	1.4. Участък за подготовка на шликер
8	Лентов транспортър за пренасяне на получената фракция от Мелница поз 5 към Хомогенизатор поз. 11, обемно тегло 2800 кг/куб.м, размери B=500 мм, L=15 м, N=2,2 kW, 2 бр. приемателни спуска в единия край, 2 м дървена част и един спусък в другия край.
9	Бункер за добавки – 1,5 м ³
10	Количка за добавки с везна до 500 кг. Задвижване автоматично. Подаване в Хомогенизатор поз. 11.
11	Хомогенизатор, Колерганг поз.3, Мелница поз. 5. Ориентировъчно време за смилане до 8-10 часа. Приблизителни размери: полезен обем V=3 м ³ . D=0,8-1 м, L=10 м, n=20 об./мин, N=15 kW.
	1.5. Участък за подготовка на пластична маса
12	Филтър преса за частично отстраняване на водата до получаване на пластична маса, D=0,8-1м, L=2м, n=10 об./мин, N=5 kW
13	Вакуум преса винтова за отстраняване на въздушни мехури от получената пластична маса D=0,8-1м, L=2м, n=10 об./мин, N=5 kW
14	Екструдер винтов, D=0,1 м, n=10 об./мин, N=5 kW

Табл. 3. Списък на предвидените необходими съоръжения №. от 15 до 33 (цех № 2, склад за готова продукция, заводски транспорт, инфраструктура, системи за връзки и управление и други).

№	Цех № 2 Получаване на готови изделия
	2.1. Участък за отпресоване на изделия
15	Формовъчни матрици за изготвяне на различни видове заготовки – 5 за павета и 2 за плочки.
16	Количка до 1000 кг върху релси. Задвижване автоматично. Подаване към Сушилня с циркулация на въздух, 2,85x2,85 м
17	Преса за отпресоване на сурови изделия. N=15 kW
	2.2. Сушилен участък
18	Сушилня с циркулация на въздух проходна с голям обем и програматор – до 684 м ³ и температура до 200°C с различни режими на сушене за различните изделия, N=75 kW, L=76 м
19	Стелажи за сушене с размери 1,2x0,8x1,8 да влизат във Сушилня с циркулация на въздухта върху количка.
	2.3. Участък за печене
20	Пещ проходна с количка с междинни прегради за високо температурно изпичане на различни изделия до 1200°C в капсули – специални кутии с или без капак. N=150 kW, L=60 м
21	Стелажи за капсули с размери 4x0,8x1,8
22	Капсули за изделия
23	Релсов път, H=1435 мм L=150 м.
	Склад за готова продукция
24	Транспорт вътрешнозаводски – фадрома, трактор с ремарке, мото (или с газ) кар или електрокар. Размер на Европалет A=800 мм, B=1200 мм H=150 мм и височина на товара H=1800 мм.
25	Опаковъчна машина за изделия с лента и фолио. N=3 kW
	Общозаводски съоръжения
26	Цехов кран – с работи манипулатори, товароподемност Q=2 тона. N=8 kW
27	Лаборатория за оценка на качеството – (апарати и уреди)– пълна лабораторна техника. Обща мощност N до 3 kW
28	Ремонтна работилница – най-необходими за ремонт на пещите и другите съоръжения машини, приспособления и инструменти, и ремонтен участък за ремонт, монтаж и демонтаж на изолацията и нагревателите на пещите. Обща мощност N=40 kW
29	Битови помещения – оборудвани с основен инвентар, осигуряващ необходимите удобства
30	Система за контрол и компютърно управление на технологичния процес
31	Заводски телефонни връзки – система – Директорски кабинет
32	Трафопост
33	Общ стелаж за сушене на въздух на изделия върху Сушилня с циркулация на въздух поз. 18 и Пещ поз. 20–742 кв.м.

3. Допълнителни звена в структурата на завода

3.1. Ремонтна работилница с ремонтен участък

За планова поддръжка и извършване на ремонтни дейности на производствените съоръжения е предвидено наличието на универсално оборудване и обособен ремонтен участък.

3.2. Лаборатория за оценка на качеството

Заложени са всички необходими уреди и апаратура за провеждане на ефективен контрол на суровините, изготвените полуфабрикати на отделните технологичните етапи от производствения процес и готовата продукция при спазване на технологичните регламенти и действащите в страната норми и стандарти.

3.3. Отопление, вентилация, трафопост, абонатна станция и други

Всички цехови производствени помещения се отопляват през зимния сезон до +5°C. За служителите от промишлено-производствения персонал са предвидени изолирани кабинни 3x3 м, климатизирани през зимния и летния сезон до +20°C и оборудвани с телефонна връзка и система за видеонаблюдение и контрол. Заложени са всички съоръжения, необходими за функциониране на предвидените звена.

4. Изводи

Въз основа на проведената дългогодишна изследователска дейност в лабораторни и полупромишлени условия е подготвен технически проект за проектиране и изграждане на опитен завод за производство на жълти павеа (с комплексни характеристики превъзхождащи оригиналните „жълти павеа“) и допълнителен асортимент от паважни елементи и плочки. Разгледаният технологичен подход е съобразен със съществуващото стандартно оборудване, типично за силикатната промишленост и може да бъде адаптиран към суровините от различни находища и индивидуалните производствени възможности на конкретни предприятия. Предвижда се изготвянето на предварителна партида прототипи за експериментална реставрация на ограничен уличен участък (до 20 m²) с амортизирана оригинална настилка, което позволява наблюдение и изследване на образците в реална експлоатационна среда.

Същевременно след частично модифициране технологичният режим и разработените рецептурни състави са приложими при производството на по-широк спектър от продукти: цветни плочи за декоративна облицовка на сгради, материали за футеровка на промишлени агрегати, изготвяне на керамични мозайки и други.

Благодарности

Настоящата разработка е извършена с финансовата подкрепа на Фонд Научни изследвания при изпълнение на научно-изследователски проект № КП-06-ОПР 03/4 14.12.2018 г.

Литература

1. Contract: KP-06-OPR 03/4 of 14.12.2018 (MES 02/18/4), Competition for funding of fundamental science investigations on social challenges – 2018, Research project of topic: "Study of the conditions of synthesis and properties of colored petrurgical materials based on sedimentary and metamorphic rocks", Head of the research team: Kr. Toncheva, Beneficiary: Institute of Metal Science, equipment, and technologies with Center for Hydro- and Aerodynamics "Acad. A. Balevski" – BAS, Sofia, Project status: current.
2. Lakov L., N. Stoimenov, P. Conev, V. Vasilev, B. Jivov, Kr. Toncheva, "Physic and chemical, mechanical properties and tomographic analysis of the new "yellow brick" from petrurgic material", DCB 2016, International Conference on Civil Engineering Design and Construction (Science and Practice), 15-17 September 2016, Varna, Bulgaria, 2016, pp. 115-120.
3. Lakov L., Sv. Encheva, P. Conev, V. Vasilev, B. Jivov, Kr. Toncheva, "Manufacturing technology, chemical and phase composition of new "yellow brick", obtain on a based of sedimentary rocks", DCB 2016, International Conference on Civil Engineering Design and Construction (Science and Practice), 15-17 September 2016, Varna, Bulgaria, 2016, pp. 121-127.
4. Lakov L., S. Encheva, P. Tsonev, B. Jivov, M. Aleksandrova, K. Toncheva, "Production of prototypes of "yellow paving stones" in Bulgaria PART I: Physical and chemical properties", Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 53 (6), 2018, pp. 1144-1149.
5. Lakov L., M. Kandeва, P. Tsonev, V. Vasilev, B. Jivov, M. Aleksandrova, K. Toncheva, N. Stoimenov, "Production of prototypes of "yellow paving stones" in Bulgaria PART II: Tribological and mechanical indicators", Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 53 (6), 2018, pp. 1150-1156.
6. Lakov L., M. Gacheva, Sv. Encheva, St. Yordanov, B. Jivov, A. Aleksandrova. Petrographic analysis and structure of new colored petrurgical materials. International Journal "NDT Days, Volume 1, Issue 3, 2018, pp. 276-281.
7. Lakov L., M. Gacheva, K. Yankova, St. Yordanov, B. Jivov, S. Rafailov, K. Toncheva, "New petrurgical materials for the production of yellow bricks and artistic-decorative items", Engineering Sciences, LV, 2018, No. 2, pp. 30-39.

8. Gacheva M., L. Lakov, B. Jivov, S. Yordanov, M. Aleksandrova, "Investigation the conditions for obtaining bulgarian yellowcolored pavings, equivalent in color to the imported produced on base of sedimentary rock". International Scientific Journal "Machines. Technologies. Materials.", Year XIII, Issue 3, 2019, pp. 144-146.
9. Gacheva M., L. Lakov, B. Jivov, K. Marinova, S. Yordanov, S. Rafailov, "Technology for the Preparation of White and Colored Petrurgical Materials on the Basis of Sedimentary Rocks". International Journal "NDT Days", Volume II, Issue 2, Year 2019, 2019, pp.182-187.
10. Lakov L., M. Gacheva, B. Jivov, S. Yordanov, "Stimulation of the crystallization processes of casts of petrurgical materials obtained by the gas counter-pressure casting method". International Scientific Journal "Materials Science. Non-Equilibrium Phase Transformations", Year V, Issue 2, 2019, pp. 37-39.
11. Lakov L., M. Gacheva, B. Jivov, S. Yordanov, "Secondary crystallization of petrurgical materials obtained by gas counter-pressure casting", Engineering Sciences, LVI, 2019, No. 1, pp. 57-66.
12. Dimitriev Y., A. Bachvarova-Nedelcheva, R. Iordanova, S. Yordanov, "Thermal Stability and Microheterogeneous Structure of Selenite Glasses", Physics and Chemistry of Glasses: European Journal of Glass Science and Technology Part B 48(3), 2007, pp. 138-141.
13. Bachvarova-Nedelcheva A., R. Iordanova, K. L. Kostov, V. Ganev, S. Yordanov, Y. Dimitriev, "Synthesis and Structural Characterization of a Glass in the $Ag_2O-SeO_2-MoO_3$ System", Journal of Non-Crystalline Solids 481, 2018, pp. 138-147.
14. Mutafchieva G., "Technological development of lighting fixtures in the field of silicate design", Collection reports, Design & applied arts – Sofia, NAA, 2018, pp. 138-144.
15. Mutafchieva G., "Modern trends and development of lighting fixtures in the field of silicate design", PhD thesis for the award of the educational and scientific degree "Doctor", NAA, Bibliography 87, 2020, p. 215.
16. Petkov V., M. Aleksandrova, R. Valov, "Partial oxidation of biocompatible titanium alloy Ti6Al4V during deposition of glassy carbon coating", International Journal "NDT Days", Vol. III, Issue 4, Year 2020, pp. 225-230.
17. Petkov V., M. Aleksandrova, V. Blaskov, "Deposition of ZrO_2 thin films obtained by sol-gel method on monolithic composite with layered structure of Nb_3OTi/Al ", International Scientific Journal "Machines. Technologies. Materials", Year XVI, Issue 2/2022, pp. 58-61.
18. Mukhtarov P., R. Bojilova, "Influence of solar and geomagnetic activity on the ionosphere over Bulgaria", Comptes rendus de l'Acad'emie bulgare des Sciences, 70, 9, Publishing House of BAS "Prof. Marin Drinov", 2017, pp. 1289-1296.
19. Bojilova R., P. Mukhtarov, "Relationship between the critical frequencies of the ionosphere over Bulgaria and geomagnetic activity", Comptes rendus de l'Acad'emie bulgare des Sciences, 73, 8, Publishing House of BAS "Prof. Marin Drinov", 2020, pp. 1113-1122.
20. Lakov L., B. Jivov, M. Aleksandrova, S. Yordanov, K. Toncheva, „Synthesis, phase composition and microstructure of colored ceramic materials based on diopside“. International Scientific Journal Materials Science. Non-Equilibrium Phase Transformations, Year VI, Issue 3 / 2020, Scientific Technical Union of Mechanical Engineering INDUSTRY 4.0, 2020, pp. 77-79.
21. Toncheva K., L. Lakov, M. Gacheva, B. Jivov, "Metal molding equipment for yellow pavet forming", International Journal "NDT Days", Volume III, Issue 2, 2020, pp. 100-103.
22. Lakov L., G. Mutafchieva, G. Peev, M. Aleksandrova, B. Jivov, "Physicochemical and technological researches of marls from the area of the village lovets related to the production of the new "yellow paving stones". International Scientific Journal Materials Science. Non-Equilibrium Phase Transformations, Year VII, Issue 3/2021, Scientific Technical Union of Mechanical Engineering INDUSTRY 4.0, 2021, pp.107-109.
23. Mutafchieva G., L. Lakov, M. Aleksandrova, G. Peev, "Technology for production of reduced yellow paving stones on the basis of modified marl clay from the Alexandra quarry, the village of Lovets, Bulgaria" (Part 1), International Scientific Journal "Machines. Technologies. Materials", Issue 3/2022, pp. 96-99.
24. Patent № 66924 B1/31.12.2021, Name of the invention "Petrurgical material", Authors: Lakov L., P, Tsonev, V. Vasilev, Place of application Bulgaria, Status – valid.



Analysis of the Characteristics of Powder Self-Lubricant Composites by the Criteria of Antifricion, Wear Resistance and Strength

Vadim KOVTUN¹, Vladimir PASOVETS^{1,2}, Yordan MIRCHEV³

¹ University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus,
Minsk, Belarus, e-mail: vadimkov@ya.ru

² State research and production powder metallurgy association National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Belarus, e-mail: vladimirnp@ya.ru

³ Institute of Mechanics of the Bulgarian Academy of Sciences,
Sofia, Bulgaria, e-mail: mirchev@imbm.bas.bg, nntdd@abv.bg

Abstract

Tribotechnical and physico-mechanical characteristics of the developed composite materials based on powder systems "copper – polytetrafluoroethylene – carbon nanostructures" are presented in this article. A comparative analysis of the characteristics of the developed materials with known composite materials has been performed.

Keywords: powder composite materials, friction units, tribotechnical characteristics, friction coefficient, wear rate, strength.

1. Introduction

One of the main tasks of modern materials science is the development of new antifricion composite materials that provide stable operation of friction units of machines and mechanisms for various purposes without liquid or grease lubricants [1]. At the same time, it is necessary to pay attention to the relevance of the problems associated with increasing the reliability and durability of modern machinery. This is due to the negative influence of friction and wear processes on the surfaces of contacting parts [2].

A number of composite materials for the manufacture of parts of friction units are described in the technical literature. Composite materials based on a metal matrix are now widely used. These materials contain functional fillers for various purposes [3]. Graphite [4], molybdenum disulphide [5], boron nitride [6] are used to improve the antifricion properties of composites for friction units. Composites based on a metal matrix with a polymer filler are popular in the industry. For example, materials DU, DP and DX [7]. Multicomponent solid materials containing nanosized components are replacing known composites [8]. Fullerenes [9], carbon nanotubes (CNT) [10], and onion carbon nanostructures (ONS) [11] are widely used as nanosized fillers.

The relevance and importance of the issues of saving metals in the production of composite materials is beyond doubt. Powder metallurgy is a progressive technology that can significantly reduce metal consumption in the production of parts for various purposes. In the production of parts of friction units by powder metallurgy methods, significant savings can be obtained by reducing metal losses. And the use of the electrocontact sintering method, which makes it possible to vary the component composition of powder composites over a wide range, makes it possible to form the properties of materials that are unattainable using traditional methods of sintering in furnaces [12].

Thus, it is necessary to consider questions concerning the comparison of the strength and wear resistance characteristics of both traditionally used antifricion materials and new composites containing a nanosized filler in their composition. The purpose of the study was to

compare the tribotechnical and physico-mechanical characteristics of traditionally used composite materials and the developed powder composite materials for friction units without lubrication.

2. Materials and investigation methods

In the work, electrolytic copper powder PMS-1 All-Union State Standard 4960–2017 was used as a metal matrix of the developed composites. A mixture consisting of 20% CNT and 80% ONS was used as a nanosized filler of the metal matrix. Polytetrafluoroethylene (PTFE) powder clad with a copper sheath with a thickness of 5 to 7 μm , was used as a polymer filler of the metal matrix.

The distribution of the nanosized filler during the preparation of nanocomposites was carried out in the process of mechanical activation by two-stage preparation of the powder mixture. At the first stage, mechanical activation of the copper-carbon nanostructures powder system was carried out; at the second stage, this powder system was mixed with clad PTFE [13]. The use of a two-stage preparation of a powder mixture is due to the possibility of preserving the hereditary structure of clad PTFE [14].

Consolidation of the initial components of the developed composites was carried out on a pilot plant, made on the basis of the resistance welding machine with electrodes-punches. The samples were formed by pre-pressing at a pressure of 400 MPa and sintered by passing an electric current with a density of 400 A/mm² for 1.5 seconds.

Coatings from the developed composite materials were obtained on a copper tape by electrocontact sintering. The coating was carried out on a setup based on a contact welding machine with roller electrodes. As a result, the powder layer was sintered to the copper tape at a pressure of 300 MPa, a current density of 300 A/mm², and an electrode displacement speed of 0.4 m/min.

Tribotechnical tests were carried out by sliding friction according to the "shaft – bearing half-liner" scheme at a load of 1.5 MPa, a sliding speed of 1.5 m/s and a temperature of 20 °C. The material of the counterbody is carbon steel 1.1191 with a surface roughness of Ra = 0.3–0.4 μm . Samples were degreased in acetone before testing. The running-in was carried out at a load of 100 kPa until full contact was formed over the entire friction surface. The wear rate was determined for the regime of steady friction without lubrication. The compressive strength was determined on an Instron 5567 universal testing machine (USA). The porosity of the sintered composite materials was determined by hydrostatic weighing. The physico-mechanical and tribotechnical characteristics of the currently used composite materials for friction units are taken from open sources.

To conduct a full and comprehensive comparative analysis of composite materials and coatings, certain criteria were formed, on the basis of which a comparison was made:

- 1) antifriction, characterized by a coefficient of friction;
- 2) wear resistance, characterized by wear rate;
- 3) strength, characterized by compressive strength and Young's modulus.

3. Results and discussion

A set of experimental studies of the physico-mechanical and tribotechnical characteristics of the developed composites for friction units without lubrication has been carried out. An analysis of the research results made it possible to establish a mechanism for increasing the wear resistance of composite materials. The mechanism for increasing the wear resistance of composite materials is that during friction without lubrication, the PTFE contained in the material allows the formation of separating layers on the friction surface,

which helps to reduce the friction coefficient to 0.1–0.13 and the friction force in contact, minimizing the period of running-in parts of friction units and increasing the allowable load on the friction unit (pressure up to 1.5 MPa and sliding speed up to 1.5 m/s). When the PTFE layers are destroyed in the process of friction, the carbon nanostructures distributed in the volume of the metal matrix come to the surface as the material wears out, make a specific movement along the friction surface of the material, and prevent the development of setting processes during the interaction of microroughnesses of the contacting surfaces of the material and the counterbody, which makes it possible to reduce the wear rate material up to 0.06–0.07 $\mu\text{m}/\text{km}$.

The results of experimental studies are presented in Table 1. Table 1 and also shows the modes of tribotechnical tests (sliding speed and pressure).

Table 1. Tribotechnical and physico-mechanical characteristics of powder composite materials for friction units without lubrication

Material (country), "composition of the material"	Friction coefficient	Wear rate, $\mu\text{m}/\text{km}$	Sliding speed, m/s ——— Pressure, MPa	Compressive strength, MPa	Porosity, %
PA-DGr10, (USSR), «Cu +10 wt.% Gr» [16]	0.15–0.20	0.5–0.55	10 ——— 0.025	–	2–9
CuG15 (Russian Federation), «Cu + 15 wt.% Gr» [17]	0.22–0.26	1.46–1.5	1 ——— 1	135–175	3–5
RU 2024639 (Russian Federation), «Cu + 2 wt.% Gr + + 5 wt. % Sn + + 1 wt. % CaF_2 + + 5 wt. % PN85Yu15» [18]	0.1–0.12	0.19–0.21	2.5 ——— 1.5	–	–
DN5M3KF9 (Ukraine), «Cu + 5 wt. % Ni + + 3 wt. % Mo + + 9 wt. % CaF_2 » [19]	0.16	30	60 ——— 7	177–183	2–4
DE10 2004 011 831 (Germany), «Cu + 7,41 wt. % Gr + + 12,04 wt. % Sn + + 1,85 wt. % Pb + + 0,93 wt. % CuP» [20]	0.2	8.3	0.008 ——— 10	230	–
Developed composites, «Cu + 6 wt. % PTFE + + 0,07 wt. % (CNT + + ONS)»	0.1–0.13	0.06–0.07	1.5 ——— 1.5	156–165	2–4
Remarks: Gr – graphite, PN85Yu15 – intermetallic (chemical compound Ni and Al)					

At the same time, in order to justify the choice of the developed materials for operation in friction units operating without lubrication, it is necessary to consider the existing analogues. One of the most popular in the industry is an antifriction powder material based on copper PA-DGr10 All-Union State Standard 26719-85, intended for parts of friction units of

machines and mechanisms and containing 9–11 wt. % carbon as graphite. This material is a copper matrix with evenly distributed inclusions of graphite and can be used for operation without lubrication at high sliding speeds – up to 50 m/s [15].

The material presented in [18] has been developed for the manufacture of self-lubricating plain bearings operating in dry and semi-dry friction modes. The rubbing surfaces in the semi-dry friction mode are in full contact or in long areas, and there is no separating lubrication layer. This material can be used in friction units of electric motors in the radio engineering and electronic industries, household appliances, in friction units of textile machines, etc., operating in the range of specific pressures up to 1.5 MPa and sliding speeds up to 25 m/s. The composite material is made by powder metallurgy by pressing at a pressure of 170–200 MPa, followed by sintering in an endogas medium at a temperature of 750–850 °C. Intermetallic compound PN85Yu15 is introduced to form secondary structures in the friction zone, which level the roughness of mating surfaces. Calcium fluoride CaF₂ and graphite are used as solid lubricants.

Composite material for friction units based on copper DN5M3KF9 is presented in [19]. This composite is designed to operate in friction units at speeds from 200 to 400 rpm. Samples of material DN5M3KF9 were produced by powder metallurgy by three-stage mixing for 4 hours, pressing at a pressure of 400–450 MPa, and sintering at a temperature of 82–870 °C. The three-stage preparation of the initial components made it possible to avoid the segregation of individual powders in the composition. The minimum residual porosity was obtained by calibration at a specific pressure of 840 MPa and annealing at $t = 450$ °C for 1 hour in a hydrogen atmosphere.

Sintered material based on powdered copper for the manufacture of plain bearings is presented in [20]. This material contains 10–15 wt. % tin, 0.5–10 wt. % bismuth and 5–12 wt. % graphite in a copper matrix [20]. In this case, graphite with a grain size of <40 μm is preferred. Also 1–3 wt. % molybdenum disulfide or 0.5–2 wt. % copper phosphide is desirable to introduce into the composition of the material to improve sintering. This composite material is used in industry for the manufacture of radial and thrust bearings, as well as anti-friction bushings and sliding plates.

Composite materials for tribotechnical purposes used in the form of coatings are also of considerable interest. These materials include MU and Fritex composites manufactured by Technymon (Italy), as well as DU and DP composites manufactured by GGB Bearing Technology (UK).

The MU material (Table 2) is constructed in layers and consists of a layer of PTFE and molybdenum disulfide with a thickness of 0.01–0.04 mm, a layer of sintered bronze with a thickness of 0.20–0.35 mm, a steel base with a thickness of 0.25–2.70 mm. This composite is intended for the manufacture of anti-friction bushings and thrust washers, as well as other special products that operate at temperatures from -200 °C to +280 °C. The maximum allowable sliding speed in dry friction is 2.5 m/s [21]. The use of liquid lubricants makes it possible to increase the maximum allowable sliding speed of this material up to 10 m/s. The service life of the MU material is determined by the values of the PV-factor. The long service life of this material is only possible at values of PV-factor from 0.2 MPa m/s to 1.8 MPa m/s. Values of PV-factor from 2.5 MPa m/s to 3.6 MPa m/s are only acceptable for short periods of material operation. The material has a low coefficient of friction 0.15–0.2 at a sliding speed of 0.5–2.5 m/s and a pressure of 1 MPa. In friction pairs with this material, it is necessary to avoid the use of bronze and aluminum, as well as materials with a surface roughness of more than 0.4 microns.

Composite material Fritex-B is intended for the manufacture of anti-friction bushings, which are operated at temperatures from -100 °C to +260 °C. Fritex-B is a support layer made of CuSn8 bronze with a thickness of 0.50–2.70 mm, on which an anti-friction PTFE layer is

applied. The value of the friction coefficient is 0.15 at the maximum allowable sliding speed with dry friction (1.5 m/s) and a pressure of 1 MPa (Table 2) [22].

Table 2. Properties of metal-polymer powder coatings

Material (manufacturer), powder system	Friction coefficient	Wear rate, $\mu\text{m}/\text{km}$	Testing regime		PV-factor, MPa m/s
			Sliding speed, m/s	Pressure, MPa	
MU (Technymon, Italy), "bronze – PTFE – molybdenum disulfide" [21]	0.15–0.2	0.1–0.12	1.5	1.0	1.8
Fritex-B (Technymon, Italy), "bronze – PTFE – graphite" [22]	0.1–0.15	0.09–0.11	1.0	1.0	–
DU (GGB Bearing Technology, UK), "bronze – PTFE – lead" [23]	0.1–0.16	0.12–0.15	0.5	1.0	1.75
DP4 (GGB Bearing Technology, Великобритания), "bronze – PTFE" [24]	0.22–0.25	0.13–0.16	1.0	1.0	1.0
Developed coating, «Cu + 6 wt. % PTFE + 0,07 wt. % (CNT+ONS)»	0.1–0.13	0.06–0.07	1.5	1.5	2.25

Composite materials DU and DP4 are widely used. The DU material consists of a steel base that provides heat dissipation from the friction surface and the necessary stiffness. This steel base is coated with a porous bronze layer 0.25 mm thick impregnated with a mixture of PTFE and lead. The impregnated bronze layer is topped with a final layer of 0.025 mm thick PTFE and lead. DU material is used at temperatures from $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+280\text{ }^{\circ}\text{C}$. With dry friction, the PV factor is 1.75 MPa m/s , and the maximum allowable sliding speed is 2.5 m/s . The coefficient of friction of the DU material is 0.1–0.16 at sliding speeds above 0.2 m/s [23]. The known material DP4 has a construction similar to that of DU. DP4 does not contain lead. The operating temperature range of DP4 material is also from $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+280\text{ }^{\circ}\text{C}$. The maximum allowable sliding speed of this material is 2.5 m/s in dry friction. The PV-factor is 1 MPa m/s . The coefficient of friction of the DP4 material at a sliding speed of 1 m/s and a pressure of 1 MPa is 0.22–0.25 (Table 2) [24]. DP4 has an advantage over DU in lead corrosive environments.

Table 2 also presents the tribotechnical characteristics of coatings made on the basis of the developed composite materials.

4. Conclusions

The results of experimental studies of the developed composite materials based on a copper matrix filled with a metal-clad polymer and carbon nanostructures are presented in this paper. A comparative analysis of the tribotechnical and physico-mechanical characteristics of the developed composite materials with known and widely used in industry composites has been performed. Comparison of the developed composite materials was carried out with known composite materials PA-DGr10 and DN5M3KF9. The characteristics of the coatings made from the developed composite materials are compared with the widely used DU, DP4,

Fritex-B, MU. It is shown that the developed composite materials based on powder systems "copper – copper-plated PTFE – carbon nanosized filler" are at the level of the best foreign analogues in terms of anti-friction, wear resistance and strength.

References

1. Chung D.D.L. Composite materials. Berlin, Springer, 2010, 368 p.
2. Hutchings I., Shipway Ph. Tribology: friction and wear of engineering materials. Oxford, Butterworth-Heinemann, 2017, 412 p.
3. Kostornov A.G., Fushchich O.I. Sintered antifriction materials. Powder metallurgy and metal ceramics, 2007, Vol. 46, No 9, pp.503–512. DOI: 10.1007/s11106-007-0078-5.
4. Furlan K.P., Goncalves P.C., Consoni D.R., Dias M.V.G., Lima G.A., Mello J.D.B., Klein A.N. Metallurgical aspects of self-lubricating composites containing graphite and MoS₂. Journal of materials engineering and performance, 2017, Vol. 26, No 3, pp.1135–1145. doi.org/10.1007/s11665-017-2563-4.
5. Winer W.O. Molybdenum disulfide as a lubricant: A review of the fundamental knowledge. Wear, 1967, Vol. 10, No 6, pp. 422–452.
6. Naidich Yu.V., Kostornov A.G., Adamovskii A.A., Varchenko V.T., Kostenko A.D. Tribotechnical characteristics of superhard boron nitride materials in contact with hard alloys. Powder metallurgy and metal ceramics, 2011, Vol. 50, No 5-6, pp. 331–342. DOI: 10.1007/s11106-011-9336-7.
7. Patel M., Pardhi B., Chopara S., Pal M. Lightweight composite materials for automotive – a review. International research journal of engineering and technology, 2018, Vol. 5, No 11, pp. 41–47.
8. Gusev A.I., Rempel A.A. Nanocrystalline materials. Cambridge, Cambridge science publishing, 2004, 351 p.
9. Barrera E., Sims J., Callahan D.L., Provenzano V., Milliken J., Holtz R.L. Processing of fullerene-reinforced composites. Journal of materials research, 1994, Vol. 9, No 10, pp. 2662 – 2669. DOI:10.1557/JMR.1994.2662.
10. Mansoor M., Shahid M. Carbon nanotube-reinforced aluminum composite produced by induction melting. Journal of applied research and technology. JART, 2016, Vol. 14, No 4, pp. 215 – 224. DOI: 10.1016/j.jart.2016.05.002.
11. Kovtun V.A., Pasovets V.N., Mikhovsky M., Kharlamov A.I. Highly wear-resistant composites based on copper powder mixture with onion carbon nanostructures for self-lubricating friction units. Journal of friction and wear, 2010, Vol. 31, No. 2, pp. 128–132.
12. Pleskachevsky Yu.M., Kovtun V.A., Kirpichenko Yu.E. Tribological coatings formed by electrocontact sintering of powder systems. Wear, 1997, Vol. 203-204, pp. 679–684. https://doi.org/10.1016/S0043-1648(96)07433-9.
13. Kovtun V., Pasovets V.N., Mirchev Y.N., Mihovski M.M. Research of the interaction energy of carbon nanotubes in the agglomeration process. International journal “NDT Days”, 2020, Vol. 3, Is. 2, pp. 72 – 79.
14. Kovtun V., Mihovski M.M., Pasovets V.N., Pleskachevsky Yu.M., Mirchev Y.N. Modeling and investigation of influence of the formation regimes of wear-resistant nano-filled metal-polymer composites on a stress state of areas contact interaction of structural components. International journal “NDT Days”, 2018, Vol. 1, Is. 3, pp. 322–329.
15. Liu J., Sun K., Zeng L., Wang J., Xiao X., Liu J., Guo Ch., Ding Y. Microstructure and properties of copper–graphite composites fabricated by spark plasma sintering based on two-step mixing. Metals, 2020, Vol. 10, No. 11, pp. 1506 – 1519. https://doi.org/10.3390/met10111506.
16. Dyachkova L.N. Structure and properties of composite powder copper-based materials. Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus, 2020, Vol. 64, No. 4, pp. 488–494. https://doi.org/10.29235/1561-8323-2020-64-4-488-494.
17. Sarmadi H., Kokabi A.H., Seyed-Reihani S.M. Friction and wear performance of copper–graphite surface composites fabricated by friction stir processing. Wear, Vol. 304, No. 1 – 2, pp. 1 – 12. https://doi.org/10.1016/j.wear.2013.04.023.

18. Boshin S.N., Nezamaev S.R., Manertsev V.A., Levina S.V., Boshin N.S. Sintered anti-friction material based on copper. Patent RU 2024639. Published 12.15.1994.
19. Konopka K., Roik T.A., Gavrish A.P., Vitsuk Yu.Yu. Effect of CaF₂ surface layers on the friction behavior of copper-based composite. Powder metallurgy and metal ceramics, 2012, Vol. 51, No 5 – 6, pp. 363 – 367. DOI: 10.1007/s11106-012-9441-2/
20. Roos U., Kraft E., Koch Th. Sintered plain bearing material, plain bearing composite material and its uses. Patent DE 10 2004 011 831 B3. Published 31.03.2005.
21. MU [Electronic resource]. Technymon plain sliding bearings. <https://technymon.com/mu.html>. Access date: 25.08.202.
22. FRITEX-B [Electronic resource]. Technymon plain sliding bearings. <https://technymon.com/fritex-b.html>. Access date: 25.08.2022.
23. DU [Electronic resource]. GGB bearing technology. <https://www.ggbearings.com/en/our-products/metal-polymer-bearings/du>. Access date: 25.08.2022.
24. DP4 [Electronic resource]. GGB bearing technology. <https://www.ggbearings.com/en/our-products/metal-polymer-bearings/dp4>. Access date: 25.08.2022.



Technological Processes and Characteristics of Lighting Products Made of Ceramic Materials

Gergana MUTAFCHIEVA, Lyuben LAKOV, Mihaela ALEKSANDROVA, Gabriel PEEV,
Dimo MIHAILOV, Bojidar JIVOV

Bulgarian Academy of Sciences, Institute of Metal Science, Equipment and Technologies with Hydro- and
Aerodynamics Centre “Acad. Angel Balevski”, 67 “Shipchenski Prohod” Blvd, 1574 Sofia, Bulgaria,
e-mail: cl.creativeline@gmail.com

Abstract

The study examines the main stages and technological processes in the manufacture of lighting products from ceramic materials that can be implemented in industrial production. The technological stages include the possibilities of molding and several examples of molding by means of traditional and modern technologies are traced. Temperature regimes for glazing and decorative firing, possibilities for coloring both the glaze and the ceramic mass, auxiliary materials and technological techniques in the production stages are considered. Prescription compositions suitable for the production of utilitarian lighting items are considered. Examples reflecting the applicability of the considered technological techniques are given.

Keywords: Ceramic technology, ceramic molding, instrumental equipment

1. Introduction

The widespread use of lighting objects is largely determined by the psychological nature of their function. This depends mainly on the type and source of light, as well as on the environment in which it is used. In an article published in the Electrical Contractor Magazine, Kraig DiLouie notes that it is very important at what stage of our everyday functions and for what purpose we use an artificial light source, where it should be positioned, and what color the light should be [1]. In this regard, the materials from which the lighting fixtures are made are of great importance. It has been found that a direct light source without diffuse scattering leads to irritation in the cornea of the eye and to an imbalance in a person's mental state. For this purpose, the materials from which the lighting objects are made must be sufficiently transparent to transmit diffusely reflected rather than direct light. Of course, the best material for this is glass, but nowadays we find lighting objects made of a number of other silicate materials [2]. The present study considers the molding technological processes of ceramic materials used in the manufacture of lighting objects [3]. This favors the rapid progress of their implementation in the production of lighting products.

2. Experiments

All available technological processes, both traditional and modern, are used in the molding of ceramic lighting products. The traditional stages include preparation of technical documentation, production of appropriate tooling according to the selected composition and molding process, molding of the finished product, and temperature synthesis according to the selected mass and method. In modern technological processes, all robotic and digital software technologies are applicable, with additive production being used for direct molding. The experimental part includes an overview of several basic technological foundations. The main stages of manual construction, pressing, slip casting and additive production are considered.

Each stage begins with mass preparation in line with the principle illustrated in Figure 1. Sample compositions of three types of used masses are presented in Tables 1 [3].

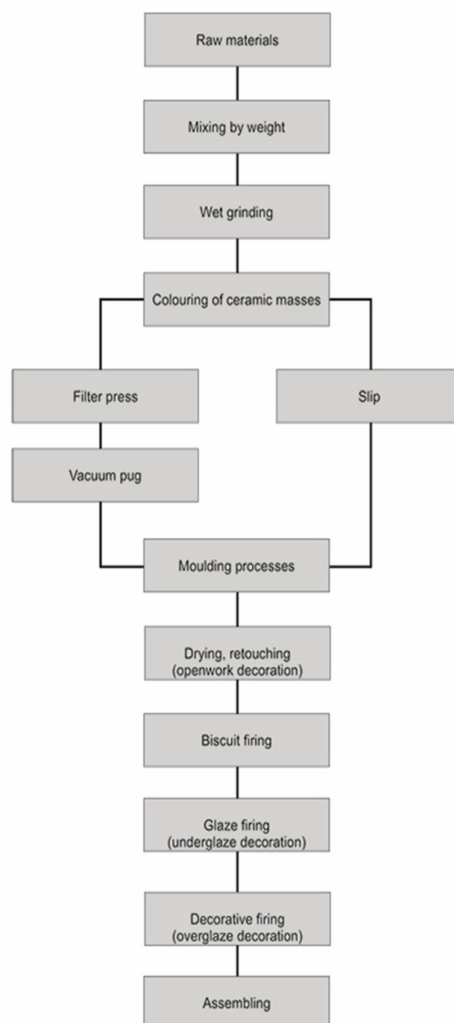


Fig. 1. Schematic diagram of mass preparation for the formation of lighting products by slip casting and plastic building.

All masses, regardless of their composition, temperature synthesis and molding method, can be colored with coloring agents during the mass preparation process. Both pure oxides and pigments comprising a combination of several coloring oxides are used as coloring components. In addition to the mass, the glazes applicable to the specific composition can also be colored, which excludes the stage of underglaze decoration. The methods of coloring the glaze are similar to those of coloring the mass, the main differences being in the amount of coloring agents and the basis of the glaze used. Blurred (roofing) glazes are used to obtain pastel colors, mostly with the addition of ZrO_2 . When clear tones must be obtained, coloring additives are imported in nonturbidity (transparent) glaze. For best results, different ratios of dry matter coloring agents to glaze are used. Examples of coloring agents for coloring masses and glazes are presented in Table 5.

Plastic molding, which is a method still applicable today, includes manual and mechanical molding. This type of building can be achieved by means of mechanized devices such as a forming wheel, extruder or press, or by the free building of the form. All possibilities, alone

or in combination, are used in the modern production of lighting objects. The choice of plastic masses is wide: they can be coarse or fine ceramic masses, with low or high melting temperature depending on the different operational requirements for lighting objects. The temperature synthesis of sample ceramic masses (masses 1, 2 and 3) are presented in Table 3. Table 1 presents the recipe composition of masses 1 and 2. Table 4 shows comparative indicators of the three types of ceramic materials. Depending on their chemical amount and temperature synthesis the masses have different indicators such as compressibility, water absorption and color [3,4].

Table 1. Quantitative analysis in percentages of the used masses.

Major components	Mass 1	Mass 2	Mass 3
SiO ₂	66.39	73.04	69.1
Al ₂ O ₃	20.74	18.22	23.0
TiO ₂	-	-	2.1
Fe ₂ O ₃	1.19	2.59	4.2
CaO	3.64	1.43	0.2
MgO	3.60	1.58	0.3
Na ₂ O	-	-	0.1
K ₂ O	3.39	2.56	1.0

Table 3. Temperature synthesis with isothermal retention in minutes at final temperature: 1180°C for mass 1, 1050°C for mass 2, and 1250°C for mass 3.








t°C	Mass 1	Mass 2	Mass3
150°C	40	30	60
650°C	60	60	40
860/950°C	5	40	5
High t°C	20	40	20

Table 4. Comparative indicators of the three types of ceramic materials.

Index	Mass 1	Mass 2	Mass 3
Firing temperature	1180°C	1050°C	1250°C
Firing shrinkage	11 %	8 %	4.5%
Water absorption	0.4 %	10 %	6 %
Color	White	Red	Yellow

Of fundamental importance for each mass is the temperature synthesis, which must be performed so that all the processes of decarbonization and crystallization are performed.

Table 5. Percent ratio of coloring oxides added to mass and glaze.

Color	Major components	Percentages % in mass	Percentages % in glaze
	Fe Cr Zn	8	3
	Zr Si Cd S	10	5
	Zr Si V	12	5
	Zr Si Pr	8	3
	Zr Si Pr	12	5
	Co Si	10	3
	Zr Si Cd S	13	8

The possibilities for coloring the mass and the glaze are wide. The coloring pigments contained in the overglaze paints are mainly synthesized coloring oxides. Overglaze paints also include large amounts of low-melting glass, as well as organic-based solutions. Table 6 shows the temperature regimes at overglaze decoration.

Table 6. Temperature regime at the decorative firing of overglaze paints at 750°C and 850°C.

t°C	Retention/min	Retention/min
150°C	30	30
750°C	5	-
850°C	-	5

In decorative firing, the final temperature is essential. Isothermal retention is performed mainly at low temperatures in order to evaporate the water content of auxiliary components such as water-soluble carriers.

One of the most common techniques in the formation and reproduction of all kinds of products, including lighting, is the casting of ceramic masses. Different compositions lend the product different appearances and the choice of material mainly depends on the specific project. Decorative approaches are also various and may include underglaze and overglaze decoration, embossed or printed images, and openwork. For masses with low light transmittance, appropriate decoration of the form is achieved by openwork decorations. In the case of glass materials with a high light transmission coefficient and refractive index, such an approach is not necessary due to their transparency and translucency. Figure 2 shows a detail of a lighting product made of hard porcelain with a refractive index of 1.5 approximately equal to the glass [5,6].

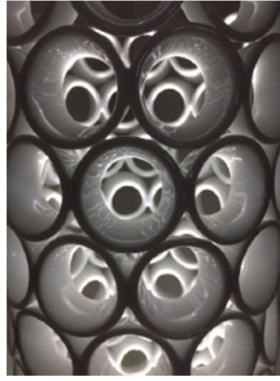


Fig. 2. Lighting object made of porcelain by French moldmaker Guy Maynard.

Table 7 reveals the mineral phases which are obtained after high-temperature synthesis. Quartz and Mullite are obtained in Mass 1 (soft porcelain); Anorthite, Wollastonite, Quartz and Almandine are achieved in Mass 2 (red-fired ceramics); and Quartz, Magnesium calcite, Albite, Gypsum, Kaolinite and Orthoclase are observed in Mass 3 (pale-fired ceramics).

Table 7. Mineral phase analysis of the synthesized samples.

Samples	Mineral phases
Mass 1	SiO ₂ 3Al ₂ O ₃ 2SiO ₂
Mass 2	CaAl ₂ Si ₂ O ₈ CaSiO ₃ SiO ₂ Fe ₃ Al ₂ (SiO ₄) ₃
Mass 3	SiO ₂ CaMg(CO ₃) ₂ KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(F,OH) ₂ NaAlSi ₃ O ₈ CaSO ₄ 2H ₂ O Al ₂ O ₃ 2SiO ₂ 2H ₂ O Al ₂ O ₃ K ₂ O6SiO ₂

3. Conclusion

The examples in the study show the use of a wide range of ceramic compositions used in the manufacture of lighting products. Forming techniques can also be varied depending on the specifics and objectives of the particular project. The type of material chosen mainly depends on the purpose of the lighting product. From this point of view, the decisive factor is the environment it is intended for. Objects made of unglazed ceramic masses with low water absorption are suitable for both indoor and outdoor environments. The possibilities of decorative techniques without the presence of a glaze layer are also wide. The masses can be decorated using embossing and openwork techniques and by coloring the composition with a rich palette of oxides and pigments. All ceramic materials are suitable for interior use, regardless of their physical and mechanical properties, mainly due to the lack of sudden temperature changes in the environment. This, in turn, allows the use of a wide range of

technological and decorative processes for the manufacture of lighting products from ceramic materials.

References

1. DiLouie, C. (2014, June). Psychology of Light. Retrieved 2014, from <https://www.ecmag.com/section/lighting/psychology-light>.
2. Griffiths, A. 21 Century Lighting Design. New York. 2014.
3. Gerasimov, E., Bachvarov, S., et al, "Technology of ceramic products and materials", 2003, Sarasvati, Handbook, ISBN 954-9841-15-4.
4. Olang, M., Kanali, C., Gariy, Z. C. A., Ronoh, E. (2018). Physical and Chemical Properties of Crushed Ceramic and Porcelain Clay Tile Powder. International Journal of IT, Engineering and Applied Sciences Research, ISSN: 2319-4413.
5. Maynard, G. (2019, June 27). Production of instrumental equipment for porcelain manufacturing. personal.
6. Wang S. F., J. Zhang, D. W. Luo, F. Gu, D. Y. Tang, Z. L. Dong, G. E. B. Tan, W. X. Que, T.S. Zhang, S. Li, L.B. Kong. Transparent ceramics: Processing, materials and applications. Progress in Solid State Chemistry 41, 2013, pp. 20-54.



Influence of Homogenization on the Phase Composition of the Cast Cobalt Super-Alloy

Stoyan PARSHOROV

Institute of Metal Science, Equipment and Technologies
with Hydro- and Aerodynamics Centre “Acad. A. Balevski”,
Bulgarian Academy of Sciences,
67, “Shipchenski prohod” Blvd, 1574 Sofia, Bulgaria,
e-mail: st.parshorov@gmail.com

Abstract.

An alloy based on Co-Cr-Mo with no Ni content used for prosthetics is investigated. Data for the structure and the phase composition during homogenization regimes are obtained. An ability to use the high temperature as a method for increasing operational capacities of the alloy is demonstrated.

Keywords: cobalt super alloy, homogenization, structure, phase composition, high temperature treatment, X-Ray, cobalt super-alloy, prosthesis, high temperature treatment, γ -Co, ε -Co,

1. Introduction

The cobalt-base nickel free alloys used generally for manufacturing dental and surgical prostheses and implants possess a good biological tolerance and biocompatibility within the human body tissues [1-6] because of the absence of dangerous for the human health nickel ions [1].

Due to their complex configuration and individuality of the implants, they are made mainly by the methods of precision casting. The application of plastic deformation to improve their properties is excluded. Therefore, the alloy has lower mechanical properties and does not use its full working and technological life.

The aim of the work is to study some technological features that a cast cobalt-based alloy used for medical implants offers us. Influence of homogenization on the phase composition of the cast cobalt super-alloy.

2. Material and methods

A cobalt alloy containing 31% chromium, 4% molybdenum and the rest of the cobalt obtained at IMSETHA-BAS was studied. The technology of sample preparation is described in detail in [9].

Samples for metallographic and X-ray structural examinations with dimensions – diameter 15 mm and thickness 2 mm, which are cut from cast cylindrical blanks. To avoid changes in the structure of the test specimens, they were cut by a wire machine by electro-sparking in a water bath.

In order to monitor the possible phase states of the investigated alloy after casting, one part of the samples was examined in the cast state, and another – after homogenization of the cast ingot at 1250°C for 6 hours with air cooling. The same samples were tested after subsequent hardening of 110°C /15 min / in water / without and with homogenization / and aging at 730°C – 4 hours.

The aging temperature was determined by other dilatometric studies [9].

The results of preliminary metallographic studies of pre-prepared sections in different structural states after casting, homogenization, hardening and aging are published in [9].

The X-ray diffraction analysis was performed with Philips-Mikro 111 computerized equipment. The diffraction spectra were studied in the range of reflection angles 15-115°, with $\text{Co}_{K\alpha}$ -radiation, step 0.02 o/min, time constant 10 sec. The “Origin 5.0 Professional” program was used to record the diffraction pattern and process the results.

3. Experimental results and discussion

In Fig. 1 shows the phase diagram of the two-component Co-Cr alloy [10], including the alloy studied by us in the temperature range up to 1100°C.

According to the state diagram, the following solid-phase reactions and phases are typical for the Co-Cr binary system:

- High temperature modification rich in cobalt phase, with wall-centered cubic lattice (FCC), s.c. γ -Co;
- At temperatures below 900°C (for the alloy we studied) it turns into a cobalt-rich phase with a hexagonal lattice, etc. ϵ -Co;

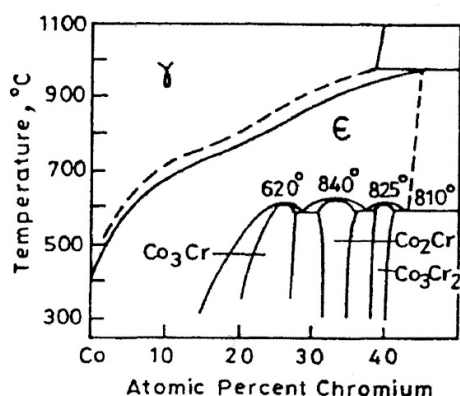


Fig.1. Phase diagram of Co-Cr [9]

- At temperatures below 840°C ϵ -Co decomposes into sigma phase (σ -phase) and chromium-rich volume-centered cubic lattice, so. α -Co. The sigma phase is an inter-metallic compound that has an approximate Co_2Cr_3 composition.

This is valid for the dual Co-Cr system, but the presence of molybdenum of the order of 4% changes the equilibrium of the system.

According to the literature, in the presence of molybdenum, the σ -phase is already a triple inter-metallic compound of the $\text{Co}_x\text{Cr}_y\text{Mo}_z$ type [10].

The state diagram reflects the equilibrium states of the metal system, which are reached after prolonged tempering, which are not typical of the applied in practice technological regimes for obtaining products that are the subject of our research. However, it shows the possible pathways for one or another phase reaction and the possibilities for obtaining a certain phase composition.

The results of the diffraction X-ray diffraction analysis of cast, hardened and aged samples, without and after homogenization, are shown in Fig. 2 and Fig. 7.

The analysis of the obtained radiographs processed with the database of [11,12] showed that the phase composition of the cast samples is γ -Co.

The homogenization of the cast samples does not lead to changes in the phase composition of the alloy, but only increases the intensity of the diffraction lines and the reduction of their width. This means that the homogenization leads only to structural changes related to the reduction of the internal micro-stresses in the material and the increase of the crystal domains, which is an expected and logical result – Fig. 2 and Fig.3.

It was found that the phase composition of the hardened samples is γ -Co and ϵ -Co-Fig. 4 and Fig.5. Again, it can be seen that the homogenization of the samples before quenching does not qualitatively change their phase composition.

After aging of the hardened samples for 6 hours at 730°C, the phase composition of the alloy is γ -Co and σ -phase – Fig. 6. The phase composition of the homogenized samples is similar – Fig. 7, after hardening and aging.

Table. Volume percentage of ϵ -Co and σ -phase in the studied alloys after heat treatment

№	Heat treatment	Volume percentage ϵ -Co	Volume percentage σ -phase
1	Hardening – without homogenization	20,2%	0%
2	Tempering – after homogenization	15,4%	0%
3	Tempering – without homogenization	0%	20,08%
4	Tempering – after homogenization	0%	14,45%

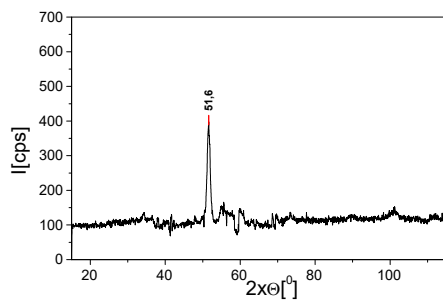


Fig. 2. Cast sample

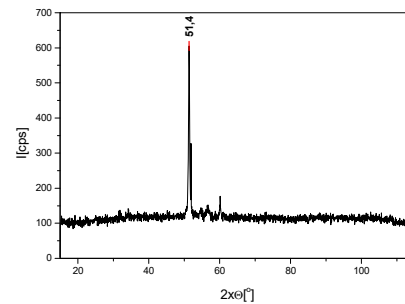


Fig. 3. Cast and homogenized sample

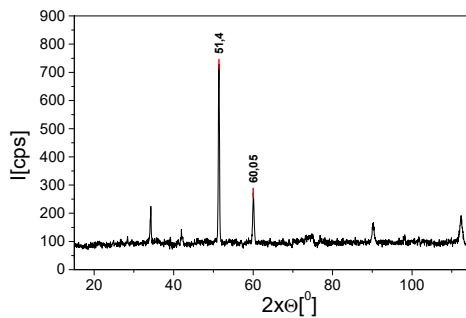


Fig. 4. Hardened without homogenization

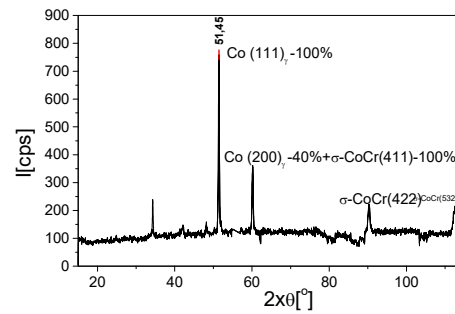


Fig. 5. Hardened after homogenization

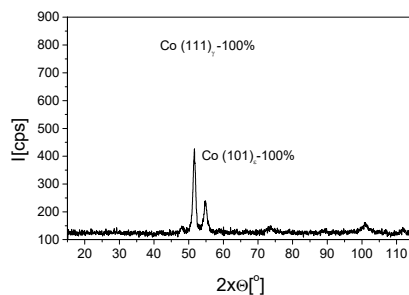


Fig.6. Hardened and aged without homogenization

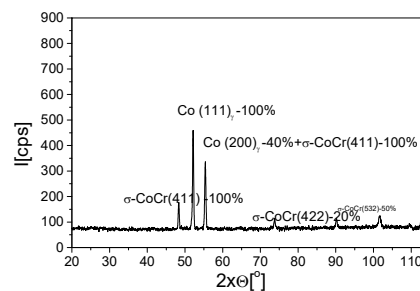


Fig.7. Hardened and aged after homogenization

To obtain a quantitative idea of the influence of homogenization on the amount of available phases in the studied alloy after heat treatment, the dependence proposed in [13] was used, which connects the volume percentage of ϵ -Co in the alloy $V_g(\epsilon\text{-Co})$ with the intensity 100% line reflection of ϵ -Co and γ -Co:

$$V_g(\epsilon\text{-Co}) = g(\epsilon)(101) / [g(\epsilon)(101) + [3 / 2 \cdot g(\gamma)(200)] \times 100\%$$

A similar dependence was used to calculate the amount of σ -phase in the studied samples after aging. The results are shown in the table below.

The results show that the homogenization of the alloy before heat treatment leads to a reduction in the amount of ϵ -Co and σ -phase in the alloy. The obtained practically identical values of the volume percentages of two phases after hardening and aging show that most probably the σ -phase in the studied alloy is obtained from γ -Co and necessarily passes through ϵ -Co. It should be mentioned that from our other studies of such alloys it was found that in terms of crystallography such a path of phase reactions is crystallographic and energetically completely justified.

4. Conclusions

Preliminary homogenization of the studied Co-Cr-Mo-alloy does not change its phase composition, but only reduces the volume of the converted and separate phases during heat treatment. It was found that the most probable path for separation of the σ -phase in the investigated alloy is through the ϵ -Co phase obtained during hardening.

Acknowledgement: All equipment and experimental units used in this work was funded by the European Regional Development Fund within the OP “Science and Education for Smart Growth 2014 – 2020”, project CoE “National center of mechatronics and clean technologies“, № BG05M2OP001-1.001-0008-C08.

References

1. Bunea D., D.Bojin, S.Zamfir, F.Miculescu, M. Miculescu, Experimental researches concerning the Co-Cr-Mo alloys used in implantology, European cells and materials, v. 5, N. 1, 2003, 53-54, ISSN 1473-2262.
2. Caicedo M., R. Desai K., McAllister, A. Reddy, J. Jacobs, N. Hallab, M. Caicedo, J. Orthop. Res., Oct; v.31, N10, 2013, 1633-1642.
3. Bingyun Li, A. Mukasyan, A. Varma, Comb ustion synthesis of CoCrMo orthopedic implant alloys: microstructure and properties, Mat Res Innovat, v. 7, 2003, 245–252.
4. Panigrahi P., Corrosion Behavior of Solution-Annealed CoCrMo, Medical.Implant. Alloys, Department of Materials Science and Engineering, The McCormick School of Engineering and Applied Sciences, Northwestern University, June 6, 2011, 32.
5. George F., V. Voort, E. Manilova, G. Lucas, Buehler Ltd., 41 Waukegan Road, Lake Bluff, IL 60044 USA, Metallographic techniques for superalloys, September, 2004, 19. [http://www.georgevandervoort.com/met_papers/Nickel and Alloys/ met techs for superalloys.pdf](http://www.georgevandervoort.com/met_papers/Nickel%20and%20Alloys/met_techs_for_superalloys.pdf).
6. Issel A., L. Lim, Biocompatibility of Stent Materials, MURJ, V. 11, 2004, 33-37.
7. Narushima A., S. Mineta, S. Namba, T. Yoneda, K. Ueda, Precipitates in Biomedical Co-Cr-Mo-C-Si-Mn Alloys, Advanced Materials Research, v. 277, July, 2011, 51-58.
8. Sahin O., A. Tuncdemir, H. Cetinkara, H. Guder, E. Sahin, Production and Mechanical Behaviour of Biomedical CoCrMo Alloy, Chinese Physics Letters, v. 28, N. 12, 2011, 126-201.
9. Parshorov S., R. Lazarova, Some features of "super" cobalt-based alloy, "Defectoscopy 2012", 175-177.
9. Gupta K., Phase Diagram Evaluations: Section II, The Co-Cr-Mo (Cobalt Chromium-Molybdenum) System, JPEDAV, v. 26, 2005, 87-92.
10. ICDD 1997 JCPDS- International Centre for Diffraction Data – PCPDFWIN, www.icdd.com.
11. X-Ray, Crystallographica, Search- Mach, 1999, <http://www.ccp14.ac.uk/poster-talks/phase-id-1999/>.
12. Serdal O., Structural, Compositional and Mechanical Characterization of Plasma nitrided Co-Cr-Mo Alloy, A Thesis Submitted to the Graduate School of Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of MASTER OF SCIENCE in Physics, December 2009, İzmir.



Development of Gradient Acoustic Composites with Enhanced Sound-insulating and Sound-absorbing Properties

Sergey BUKHAROV¹, Victor KOZHUSHKO¹, Vladimir SERGIENKO¹,
Alexander ALEXIEV², Roumen IANKOV², Anastasiya TULEIKA¹

¹ V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus,
e-mail: sbuharov@tut.by

² Institute of Mechanics at the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria,
e-mail: alexiev@imbm.bas.bg

Abstract

The paper discusses promising way of utilization of the buckwheat husks for production of noise reducing composites for various applications in automotive and buildings industry. Significant amount of produced buckwheat husks allows to suggest it as the environmentally friendly filler for production of polymer based noise reducing composites. A method is proposed for creating a gradient structure of a composite that combines high sound-absorbing and sound-insulating properties in a wide frequency range. The measured normal coefficient of sound absorption is comparable with artificial acoustic materials such as polyurethane foam. At the same time, the measured value of airborne sound insulation is more than 60 dB in the frequency range from 50 to 6400 Hz.

Keywords: sound absorption coefficient, transmission loss, gradient acoustic composites, buckwheat husks

1. Introduction

The high level of noise on the streets of cities and in industrial premises negatively affects a person, namely his health and emotional state, therefore, reducing noise exposure levels is an urgent task to ensure comfortable conditions for the population of cities. The development of measures aimed at reducing the noise safety of residential and industrial premises, as well as reducing sound pressure levels in the transport industry, is an important economic and social task. From the point of view of materials science, intensive work is being carried out to create acoustic composite materials and noise-reducing structures that isolate noise sources and reduce its level in rooms.

There are no universal materials that are equally well reduce noise at all sound frequencies and at the same time meet all operational requirements. For example, in the vehicle interior some materials have good decorative and protective properties, while others – damping or heat insulation. A large number of factors it must be considered when developing an optimal soundproofing structure. Among them are demands of operational conditions: decorativeness, durability, heat resistance, moisture resistance, biostability, and limitations on thickness, weight and cost.

Development of composite materials is largely determined by environmental regulations and requirements aimed at reducing various harmful for human factors throughout the entire life cycle, including stages of production, operation and disposal of materials. Serious concerns about environmental changes affecting climate are driving researchers to search for fillers and plant-based fibers that rival known synthetic fibers such as mineral and glass fibers in terms of sound absorption, density, and biodegradability. Natural fibers have many advantages compare to synthetic fibers, for instance low weight, low density, low cost, acceptable specific properties and recyclable or biodegradable [1, 2]. Fibers form open pores structure which possess flow air flow resistance while other biomass-derived materials such as rice or buckwheat husks can be used as filler in composite. In addition to fibers, it is possible to use other materials of plant origin: stems and fruit shells.

Buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) is a valuable, widely cultivated cereal crop, the cultivation of which is of great economic importance. Buckwheat is one of the most popular food crops in Belarus and in many other countries of the world. The large-tonnage wastes in the form of straw, husk and bran are produced after processing of buckwheat. The waste amount of buckwheat husk is about 200 kg for each ton of groats [3]. The use of untreated shells as a sound-absorbing material is possible, for example, in the case of floor filling, however, to expand the scope of practical application, molding into slabs with preservation of the porous structure is required. One of the promising solutions is the manufacture of composites based on epoxy resin and its modified variants in order to improve the soundproofing properties of the gradient structure of the composite.

2. Materials and methods

For the manufacture of experimental samples, buckwheat husks were used, provided by the branch of the Gomel bakery plant. The density of the husk kept at room temperature $20\pm 2^\circ\text{C}$ and humidity $50\pm 10\%$ for 7 days is 145 kg/m^3 . Composites are made on the basis of modified epoxy resin ED-20, which was cured using aminoacrylate. Calcium stearate and graphite with a mass fraction of not more than 7% were used as polymer binder modifiers. Epoxy resin provides a sufficiently high rigidity of the composite, is not affected by moisture, does not emit harmful chemical compounds. The proposed technology ensures the production of a gradient composite, the bulk density of which, depending on the thickness, varies in the range $170\text{...}700\text{ kg/m}^3$. For the purpose of subsequent measurements of sound insulation and sound absorption of composites, two molds were made from ABC plastic with an inner diameter of 100 mm and a height of 20 mm and 30 mm. The polymerization of the resin took place at room temperature, the mixture of husks and resin was kept in molds for more than 24 hours, after which the samples were removed and weighed. An image of the samples for acoustic tests is shown in Figure 1(a) and composite structure is shown in Fig. 1(b).

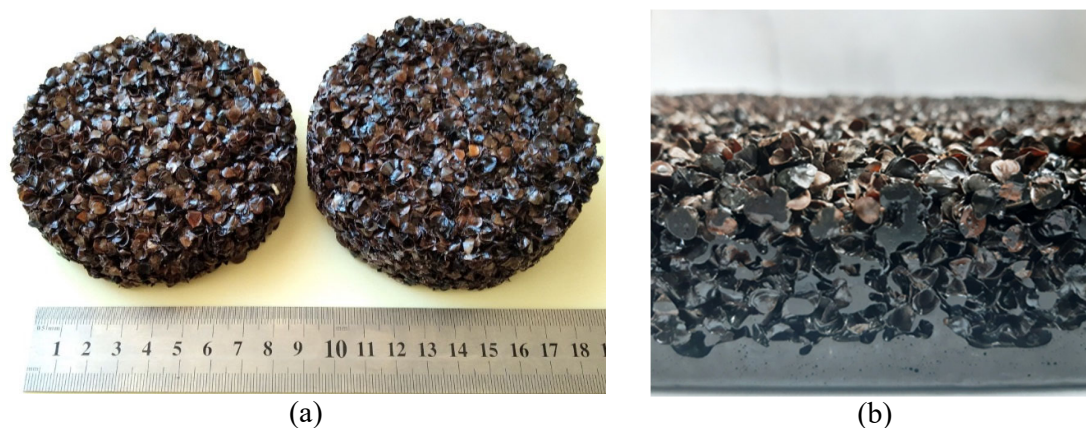


Fig. 1. Samples for acoustic tests (a) and gradient structure of the composite based on buckwheat husk and modified epoxy resin (b)

Measurements of sound absorption coefficient were performed using the two microphone method (ISO 10534-2:1998) and methodology described in the international standard ISO 13472-2-2010. Absolute values of sound transmission loss were measured for cylindrical samples with a diameter of 100 and 29 mm by four microphone method using the 4206T impedance tubes in accordance with ASTM E2611-17. To determine the spectral characteristics of noise at the source of its occurrence, a system for collecting and analyzing

vibroacoustic signals based on a PULSE 3560 analyzer and a 4961 unipolar measuring microphone (Brüel & Kjaer) was used. Brüel & Kjaer data acquisition system based on the PULSE 3560B analyzer and a 4961 unipolar measuring microphone (Brüel & Kjaer) was used to determine the spectral characteristics of noise at the source of its occurrence.

3. Results and discussion

The results of measurements of sound absorption and transmission loss of composites based on buckwheat husks and unmodified epoxy resin of various densities are shown in Figure 2. The sound absorption of composites changes significantly from low density composites (500 kg/m³) to denser specimen (700 kg/m³). The 30 mm thick composite has local maximum of absorption at 1100 Hz while the absorption of the denser composite of the same thickness demonstrates local maximum of with the value near 0.6 at the frequencies about 450 Hz. It was above mentioned that the sound absorption is directly related to the porosity since the composites with high porosity (low density) have higher sound absorption in contrast to the materials with low porosity (high density). Thus, the density indirectly determines the efficiency of sound absorption and insulation. The comparison of results related to the sound insulation yields higher transmission loss for denser composite namely above 10 dB for the frequencies >300 Hz while lower density composite approaches only 6 dB in considered frequency range. The sound insulation of porous composite is worse but varying the density and the thickness it is possible to change the position of the local maximum of absorption and transmission loss.

A method for obtaining structure with a smooth change in density along the thickness (density gradient) has been proposed and gradient acoustic composites have been developed that combine high characteristics of sound absorption and sound insulation simultaneously [4].

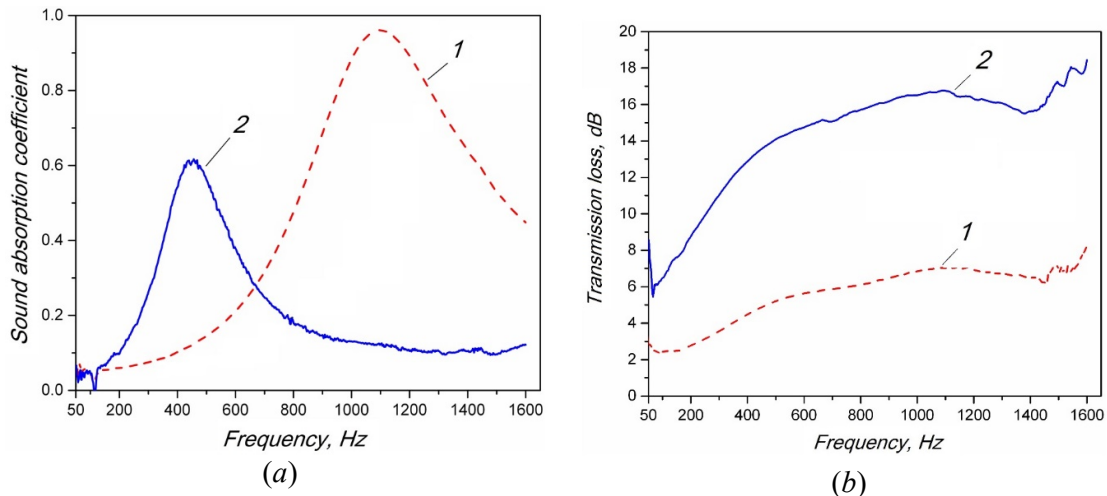


Fig. 2. Results of measurements of sound absorption (a) and transmission loss (b) of composites based on buckwheat husks and unmodified epoxy resin of various densities: 1 – 500 kg/m³; 2 – 700 kg/m³(test specimens of 30 mm thick)

The results of measurements and spectral analysis of noise (Fig. 3), recorded on the territory of the Gomel sorting and dispatch park, showed a significant excess of the maximum permissible sound pressure levels in the entire audible frequency range above 1 kHz. In the normalized frequency range (upper limit is 8 kHz), the maximum permissible levels are exceeded by more than 50 dB.

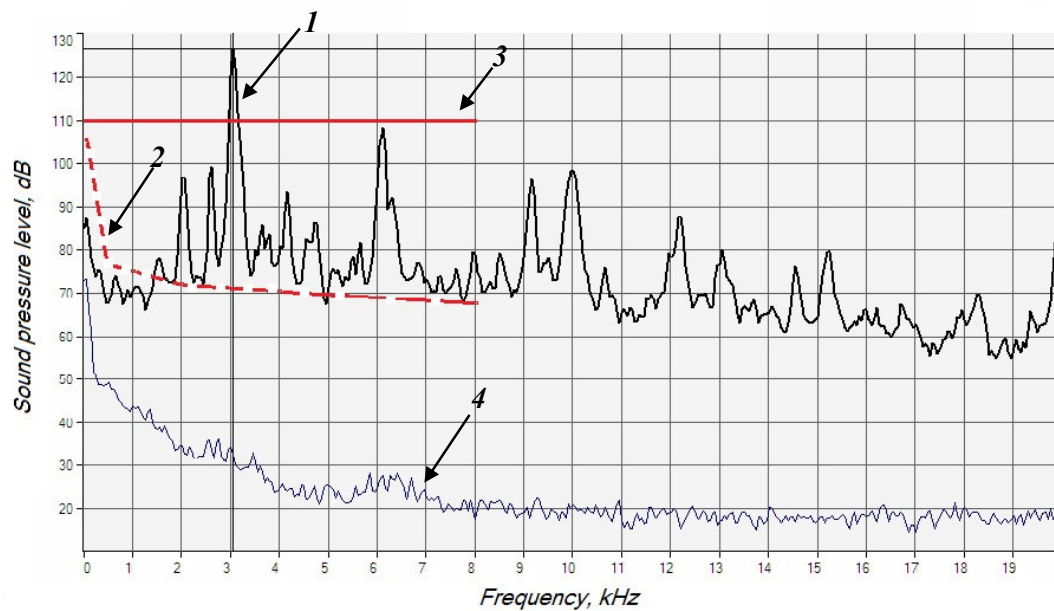


Fig. 3. Results of measurements of the noise generated during braking of railway carriage with standard brakes: 1 – measured noise levels; 2 – maximum permissible levels (MPL) for constant and equivalent intermittent noise; 3 – MPL for the maximum noise value (110 dB); 4 – background noise level

4. Conclusion

Acoustic composites based on buckwheat husk and modified epoxy resins have been developed to solve the problem of reducing noise pollution in nearby residential areas. The structure of the composite has been optimized taking into account the actual spectral characteristics of noise measured during the operation of the brake systems of wagon retarders on railway marshalling yards. A technology for obtaining gradient composites was proposed and a prototype of a noise barrier panel with a normal sound absorption coefficient of 0.6–1.0 and transmission loss of more than 60 dB in the frequency range of 50–6400 Hz was made. According to preliminary estimates [4], the use of such composites in noise barriers can provide noise reduction to the current maximum permissible levels.

References

1. Balasubramanian D., Rajendran S., Srinivasan B., Angamuthu N. Elucidating the sound absorption characteristics of foxtail millet (*Setariaitalica*) husk / *Materials*. 2020, V.13, P. 5126.
2. Sakamoto S., Takauchi Y., Yanagimoto K., Watanabe S. Study of sound absorbing materials of biomass tubule etc. (Measured results for rice straw, rice husks, and buckwheat husks) / *Journal of Environment and Engineering*. 2011, V.6, No 2, P. 352-364.
3. Klintsavich V.N., Flyrik E.A. Methods of use of buckwheat husband sowing (Review) / *Proceedings of BNTU*, 2020, V. 2, No 1, P. 68-81.
4. Bukharov, V. V. Kozhushko A., V.P. Sergienko, A.R. Alexiev, R.Z. Iankov, A.S. Tuleika. Acoustic Characteristics of Gradient Composites Based on Buckwheat Husk for Noise Barriers of Highways and Railways // *J Acoustics-2021-volume 23*, pp.22-26.



Dielectric Permittivity and Structure on Thin Ceramic Layers on Metal Surfaces

Mihaela ALEKSANDROVA¹, Bojidar JIVOV¹, Lyuben LAKOV¹, Vladimir BLASKOV¹,
Yordan MARINOV²

¹Bulgarian Academy of Sciences, Institute of Metal Science, Equipment and Technologies with Hydro and Aerodynamics Center “Acad. Angel Balevski”,
67 Shipchenski prohod Blvd., 1574 Sofia, Bulgaria,
e-mail: mihaela.krasimirova@mail.bg

²Institute of Solid State Physics “Acad. Georgi Nadjakov” at Bulgarian Academy of Sciences,
72 Tzarigradsko Chaussee, Blvd., 1784 Sofia, Bulgaria

Abstract

Research is focused on the synthesis of strontium titanate films and the deposition of sol on an aluminum support. Five layers of the stable sol were deposited on an aluminum support. Drying was carried out in a dryer at a temperature of 60°C. The finished sample was thermally treated in a laboratory furnace at 400°C with a delay of 10 minutes. The obtained perovskites were characterized by XRD and the relative dielectric permittivity was determined.

Keywords: sol-gel, SrTiO₃, conductivity, dielectric permittivity

1. Introduction

In modern industrial production and scientific and applied activity, various single-layer or multi-layer coatings, characterized by a number of functional properties [1-30], are used in a wide assortment of products: anti-corrosion, thermal, thermotechnical, magnetic, electrophysical, physicochemical, photoelectric, optical, catalytic, abrasive, adhesive, bioinert, bioactive, decorative, etc. The use of various thin-layer coatings ensures an increase in the technical indicators of the products and significantly expands the possibilities for their full use in a dynamic and aggressive operating environment [7,10,12,14,20-24,26,27,31].

The development of innovative and competitive products in the field of modern electronics [30] is a major factor for the successful functioning and development of industry, transport, energy, healthcare and other economic branches and public spheres. In the production of various electronic components, a standard technological stage is the deposition of thin layers in the course of the production cycle until the preparation of the final products [2].

During the extensive research activity carried out over a long period of time [1-31], a huge variety of experimental samples formed from binary or polycomponent thin-layer coatings (oxide, nitride, silicate, zirconate, titanate, aluminate, stannate and a number of others) were prepared deposited by various technological methods.

Standard and laboratory methods have been developed for preliminary preparation, modification and effective increase of the reactivity of the substrate [30,31] by applying various etching techniques and various surface technological treatment: chemical, thermal, plasma, mechanical and others. The role of the used deposition methods, the phase composition, the adhesion properties, the microstructural and mechanical characteristics [13,28,31] of the formed transition layers and the separated separate zones (between the coating and the substrate) in the formation of the final complex indicators of the experimental samples was traced.

The aim of the present work is to study the dielectric permittivity and structure of thin ceramic layers (titanate, stannate) with a registered thickness of about 1 μm , deposited on the surface of metal experimental samples by applying the sol-gel method.

2. Experimental part and discussions

First, the aluminum pads were cleaned in 5% alkaline NaOH and then in 30% acidic HNO₃ solution and then rinsed in acetone for 30 minutes to remove the oil layer, primary oxidation and surface impurities.

The strontium titanate SrTiO₃(STO) sol was previously synthesized by a sol-gel method to obtain a stable sol. The starting precursors are Sr(NO₃)₂ strontium nitrate and titanium butoxide Ti(Bu)₄ in a 1:1 ratio. The two solutions were homogenized independently of each other and mixed after 3 hours of homogenization. After mixing, DEA (diethanolamine) and AcAc (acetylacetone) are added as stabilizers. After obtaining a stable sol, proceed to the deposition of thin films by dipping method. 6 layers are deposited on the finished aluminum substrate. After each application, the sample is dried in a dryer at 60°C. After applying the last layer, the sample is annealed at 400°C in a laboratory furnace with a delay of 10 minutes. The material thus obtained is examined to determine the necessary indicators and possible applications. Structural characterization of STO thin films. Figure 1 shows the X-ray diffraction (XRD) patterns of STO films prepared. The films show a crystal pattern, with peaks corresponding to a cubic structure of the perovskite SrTiO₃ with space group Pm3m. The Sr(NO₃)₂/Ti(Bu)₄ deposited film exhibits narrow peaks with higher intensity associated with superior crystal growth. The average crystallite size was calculated using the Scherer equation. From the structural analysis, the lattice distortion, ϵ , was further calculated from Eq. (1) This parameter describes the difference in atomic positions from the ideal crystal structure.

$$\epsilon = \beta \theta / 4 \tan \theta \quad (1)$$

Meanwhile, the dislocation density, δ , represents the presence of defects in the material and is calculated using equation (2),

$$\delta = 1/D^2 \quad (2)$$

D represents the crystallite size previously calculated from XRD patterns. From these analyses, it was found that the Sr(NO₃)₂/Ti(Bu)₄ deposited sample showed the highest crystallite size and the lowest lattice distortion and dislocation (Fig. 1)

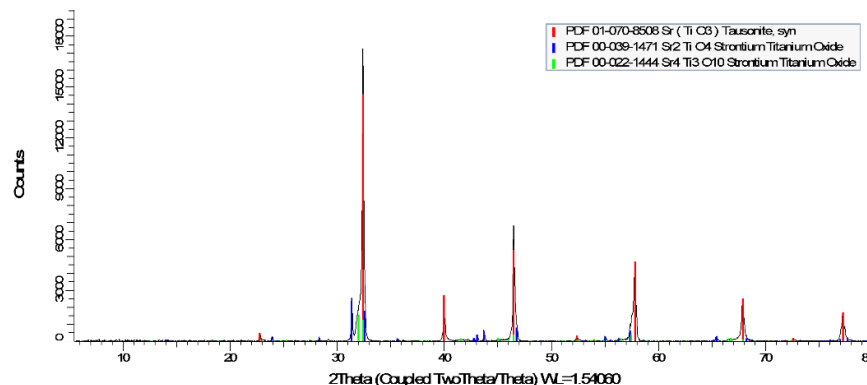


Fig. 1. SrTiO₃ film deposited on an aluminum support

The relative permittivity of the material as a function of temperature was also determined. The result is shown in fig. 2

The relative permittivity (ϵ_r) of the material shows its energy storage capacity when a potential is applied across it. It is related to the macroscopic properties like polarization or capacitance. For circuit miniaturization, usually one employs a high ϵ_r material.

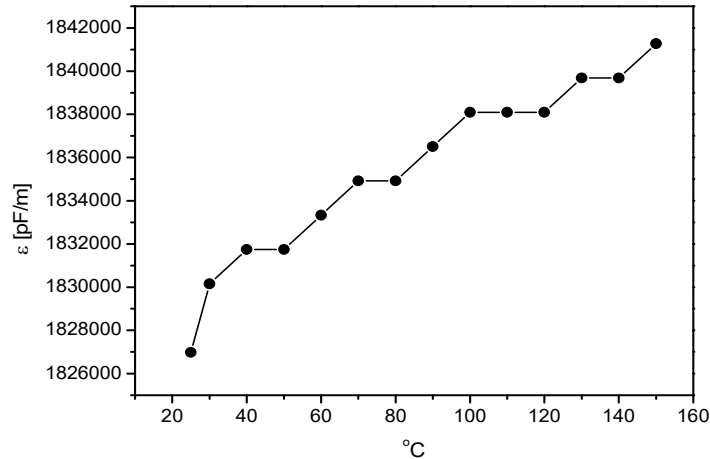


Fig.2 Dielectric permittivity of SrTiO₃ deposited on an aluminum support

In the studies carried out in this way, the relative dielectric permittivity has a relatively higher result compared to the synthesis of powdered material in the traditional solid phase synthesis.

3. Conclusion

As a result of the conducted research, the following conclusions can be drawn: Synthesis of a strontium titanate phase with high dielectric permittivity during sol synthesis by the sol-gel method. Aluminum plates were prepared by chemical treatment and deposition of the sol solution by dip coating. X-ray analysis of the deposited coatings is presented and the dielectric constant is determined. The material may find application in the development of dielectrics for supercapacitors.

Acknowledgments

The authors are grateful to the financial support of the Bulgarian National Science Fund at the Ministry of Education and Science, Contract No KII-06-H 37/26 18.12.2019.

References

1. Cao X. Q., R. Vassen, D. Stoeber, Ceramic materials for thermal barrier coatings, J. Eur. Ceram. Soc. 24, 2004, pp. 1-10.
2. Okuyama M. (Eds.), Y. Ishibashi (Eds.), Ferroelectric Thin Films, Basic Properties and Device Physics for Memory Applications, Part of the book series: Topics in Applied Physics (TAP, volume 98) Publisher: Springer, 2005, Book.
3. Deng G., T. Yamada, P. Murali, Evidence for the existence of a metal-insulator-semiconductor junction at the electrode interfaces of CaCu₃Ti₄O₁₂ thin film capacitors, Applied Physics Letters 91 (20) 2007, 202903-1-202903-3.

4. Shinde P., S. B. Sadale, P. S. Patil, P. N. Bhosale, A. Brüger, M. Neumann-Spallart, C.H. Bhosale, Properties of spray deposited titanium dioxide thin films and their application in photoelectrocatalysis, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 92, 3, 2008, 283-290.
5. Characklis W. G., Bryers, J. D.: Bioengineering report: fouling biofilm development: a process analysis. *Biotechnol. Bioeng.* 102(2), 309–347 (2009)
6. Wang D., G. P. Bierwagen, Sol gel coatings on metals for corrosion protection, *Progress in Org Coat*, 64, 2009, 327-338.
7. Salazar-Banda G. R., S. R. Moraes, A. J. Motheo, S. A. S. Machado, Antic-orrosive cerium-based coatings prepared by the sol–gel method, *J. Sol-Gel Sci. Technol.* 52 (2009) pp. 415–423.
8. Lopez A. J., J. Rams, and A. Urena, “Sol-gel coatings of low sintering temperature for corrosion protection of ZE41 magnesium alloy”, *Surface and Coatings Technology*, vol.205, No. 17-18, pp. 4183-4191, 2011.
9. Friedbacher G., H. Bubert, *Surface and Thin Film Analysis: A Compendium of Principles, Instrumentation, and Applications (English Edition) 2nd Edition*, Publisher: Wiley-VCH; 2nd edition (2011).
10. Marin E., L. Guzman, A. Lanzutti, W. Ensinger, L. Fedrizzi, Multilayer Al₂O₃/TiO₂ Atomic Layer Deposition coatings for the corrosion protection of stainless steel, *Thin Solid Films*, 522, 2012, 283-288.
11. Atanassova E., A. Paskaleva, D. Spassov, "Doped Ta₂O₅ and mixed HfO₂-Ta₂O₅ films for dynamic memories application", *Microelectron. Reliab.* 51, 2012, pp.. 642-650.
12. Chiu F.-C., P.-W. Li, and W.-Y. Chang, “Reliability characteristics and conduction mechanisms in resistive switching memory devices using ZnO thin films,” *Nanoscale Research Letters*, Vol. 7, Article ID 178, 9 pages, 2012.
13. Chiu F. C., W. C. Shih, J. J. Feng, “Conduction mechanism of resistive switching films in MgO memory devices,” *Journal of Applied Physics*, Vol. 111, No. 9, Article ID 094104, 5 pages, 2012.
14. Tiwari S. K., M. Tripathi, R. Singh, Electrochemical behavior of zirconia based coatings on mild steel prepared by sol–gel method, *Corros. Sci.* 63 (2012) pp. 334–341.
15. Guergova D., E. Stoyanova, D. Stoychev, I. Avramova, P. Stefanov, Self-healing effect of ceria electrodeposited thin films on stainless steel in aggressive 0.5 mol/L NaCl aqueous solution, *J. Rare Earths*, 33 (2015) 1212.
16. Abb El-Lateef H. M., M. M. Khalaf, Corrosion resistance of ZrO₂-TiO₂ nanocomposite multilayer thin films coated on carbon steel in hydrochloric acid solution, *Mater. Characteriz.*, 108, 2015, 29-41.
17. Fedel M., E. Callone, M. Fabbian, F. Deflorian, S. Dirè, “Influence of Ce³⁺ doping on molecular organization of Si-based organic/inorganic sol-gel layers for corrosion protection”, *Applied Surface Science* 414, 2017, pp. 82–91.
18. Mutafchieva G., “Technological development of lighting fixtures in the field of silicate design”, *Collection reports, Design & applied arts – Sofia, NAA*, 2018, pp. 138-144.
19. Petkov V., R. Valov, Effects of diamond nanoparticles on the microstructure, hardness and corrosion resistance of chromium coatings, *American Journal of Chemical Engineering*, Vol. 8, 6, 2020, pp. 125-130.
20. Petkov V., R. Valov, S. Simeonova, M. Kandeve, Characteristics and Properties of Chromium Coatings with Diamond Nanoparticles Deposited Directly on Aluminum Alloys, *Archives of Foundry Engineering*, 4, 2020, pp. 115-120.
21. Nasehnejad M., G. Nabyouni, Studying magnetic properties and surface roughness evolution of Ag-Co electrodeposited films. *J. Magn. Mater.* 490, 2019, 165501.
22. Ping-Che Lee, Yu-Liang Hsiao, Jit Dutta, Ruey-Chi Wang, Shih-Wen Tseng, Chuan-Pu Liu, Development of porous ZnO thin films for enhancing piezoelectric nanogenerators and force sensors, *Nano Energy*, Vol. 82, 2021, 105702.
23. Zhu J., X. Zhu, H. Liu, J. Xing, *Thin Film Physics And Devices: Fundamental Mechanism, Materials And Applications For Thin Films*, Publisher: World Scientific (2021)
24. Mukhtarov P., R. Bojilova, “Influence of solar and geomagnetic activity on the ionosphere over Bulgaria”, *Comptes rendus de l’Acad’emie bulgare des Sciences*, 70, 9, Publishing House of BAS "Prof. Marin Drinov", 2017, pp. 1289-1296.

25. Bojilova R., P. Mukhtarov, "Relationship between the critical frequencies of the ionosphere over Bulgaria and geomagnetic activity", *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, 73, 8, Publishing House of BAS "Prof. Marin Drinov", 2020, pp. 1113-1122.
26. Aarik J., A. Aidla, A.-A. Kiisler, T. Uustare, V. Sammelselg, Effect of crystal structure on optical properties of TiO₂ films grown by atomic layer deposition, *Thin Solid Films*, 305, 1, 1997, 270-273.
27. Battiston G. A., R. Gerbasi, A. Gregori, M. Porchia, S. Cattarin, G. A. Rizzi, PECVD of amorphous TiO₂ thin films: Effect of growth temperature and plasma gas composition, *Thin Solid Films*, 371, 2000, pp. 126-131.
28. Wang J., Li Ch., Xu B., Basic Principle, Advance and Current Application Situation of Sol-Gel Method, *Chemical industry and engineering*, 2009, 26(3), pp. 273-277.
29. Yordanov S. I., A. D. Bachvarova-Nedelcheva, R. S. Iordanova, I. D. Stambolova, Sol-gel Synthesis and Properties of Sm Modified TiO₂ Nanopowders, *Bulgarian Chemical Communications* 50, 2018, pp. 42-48.
30. Bachvarova-Nedelcheva A., S. Yordanov, R. Iordanova, I. Stambolova, Comparative Study of Sol-Gel Derived Pure and Nd-doped TiO₂ Nanopowders, *Journal of Chemical Technology and Metallurgy* 53(6), 2018, pp. 1167-1172.
31. Aleksandrova M., B. Jivov, L. Lakov. Summary of sol-gel synthesis of materials with electronic applications. *International Scientific Journal Materials Science. Non-Equilibrium Phase Transformations*, Year VI, Issue 3, 2020, Scientific Technical Union of Mechanical Engineering INDUSTRY 4.0, 2020, pp. 83-85.



Experimental Study of Butt-Welded Joint of High Strength Steel

Pavlin SHARBANSKI, Daniela GRIGOROVA

University of Chemical Technology and Metallurgy, Department of Metallurgical Technologies,
Electrotechnics and Electronics,
1756 Sofia, Bulgaria, 8 Kl. Ohridsky Blvd., e-mail: d.dimitrova@uctm.edu

Abstract

Controlling the quality of the welding process is necessary due to the complex nature of the process and the various factors that can affect it. T-shaped butt welded joint was tested on non-destructive methods – visual, magnetic-powder, and radiographic control. The Vickers hardness in the directions of four weld lines, the zone of thermal influence, and the base metal were studied. The tensile strength and fracture site were determined on welded flat test specimens of four smelters.

Keywords: Butt welding, experimental investigation, non-destructive methods, tensile strength, hardness

Експериментално изследване на челно заварено съединение от високоякостна стомана

Павлин ШАРБАНСКИ, Даниела ГРИГОРОВА

1. Увод

Заваряването е процес, чрез който се получава монолитно съединение от заварявани части. Този метод е технологичен процес, основаващ се на строго определени физични процеси, използващ определен вид енергия [1, 2]. Освен изискването за високо качество на заваръчния шев, целта на заваряването, е да гарантира получаване на заварени съединения без деформации и напрежения, които да издържат на високи натоварвания. Предпоставка за качествен процес е комплекс от многото фактори, които влияят на заваряемостта и са свързани с конструкцията и производствените особености [3, 4]. Определянето на качеството на заварените съединения изисква прилагането на различни методи на контрол, тъй като е възможно при заваряване да се получат дефекти – горещи и студени пукнатини, микро пори, неплътности или липса на съединяване. Геометрията, размерите и дефектите в завареното съединение се измерват върху металографски образец. Изследването на микроструктурата дава възможност за оценка на заваръчния процес и на очакваната якост на съединението [5]. В процеса на заваряване, всеки метал първоначално кристализира като лята структура, вследствие на това, образуваната микроструктура зависи от параметрите на заваряване, типа и размера на заваръчната вана и условията на охлаждане. Контролирането на качеството на заваръчния процес е абсолютно необходимо поради комплексния характер на процеса и различните фактори, които могат да му повлияят.

Целта на настоящата работа е да се изследва качеството на шева на заварено Т-образно челно съединение от високоякостна стомана.

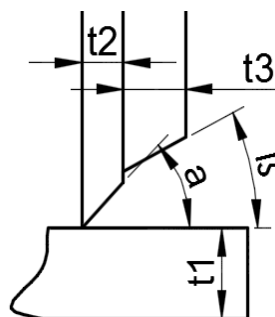
2. Експериментална част

За изработване на челно завареното съединение е подбрана предварително марка стомана S890. Тази стомана издържа на високи натоварвания, има висока якост, жилавост и е пригодна за заваряване. Избран е MAG 135, като метод на заваряване. За да се избегне ненужно висока якост на метала на шева в сравнение с тази на основния метал е използван добавъчен материал ОК Aristorod 89 G 89 4Mn4Ni2CrMo (съгласно БДС EN ISO 16834-A: G Mn4Ni2CrMo (тел) и БДС EN ISO 16834-A: G 89 4 M Mn4Ni2CrMo) [6]. Използван е защитен газ M21 – CO₂-82%, Ar-18%.

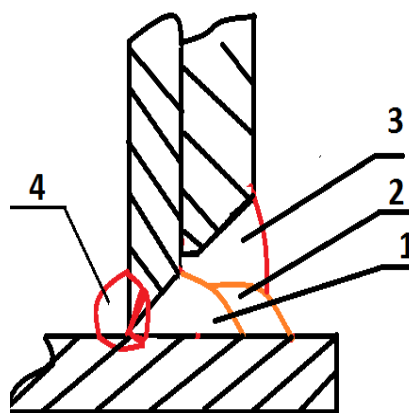
На таблица 1 са показани дебелините на материала и ъглите на скосяване. Част от сложността при заваряване на този детайл е, че сглобката трябва да се направи от три стоманени плоскости с различни дебелини – 4, 6 и 10 mm. За да се обезпечи съответната здравина на изделието елементите се разполагат под различни ъгли – 30° и 45°. На фиг. 1 е показано начина на сглобката подготвена за заваряване. Изделието е заварено с четири заваръчни шева, чието разположение е визуализирано на фиг. 2.

Таблица 1. Размери и дебелини, mm

Thickness t1-t2+t3 Дебелина	t1=10mm, t2=4mm, t3=6mm
Angle "α" Ъгъл скосяване на материал t2	45°
Angle "β" Ъгъл на скосяване на материал t3	30°
Contact area "c" Чело на контакт	0-0.5



Фигура 1. Схема на събиране и оразмеряване



Фигура 2. Заваряване с четири заваръчни шева. 1 – Първи заваръчен шев; 2- Втори заваръчен шев; 3- Трети заваръчен шев; 4- Подложен заваръчен шев (от вътрешната страна)

2.1 Безразрушителен контрол

Сред най-широко използваните методи за безразрушителен контрол са: радиографичен контрол; ултразвуков контрол; контрол с проникващи течности;

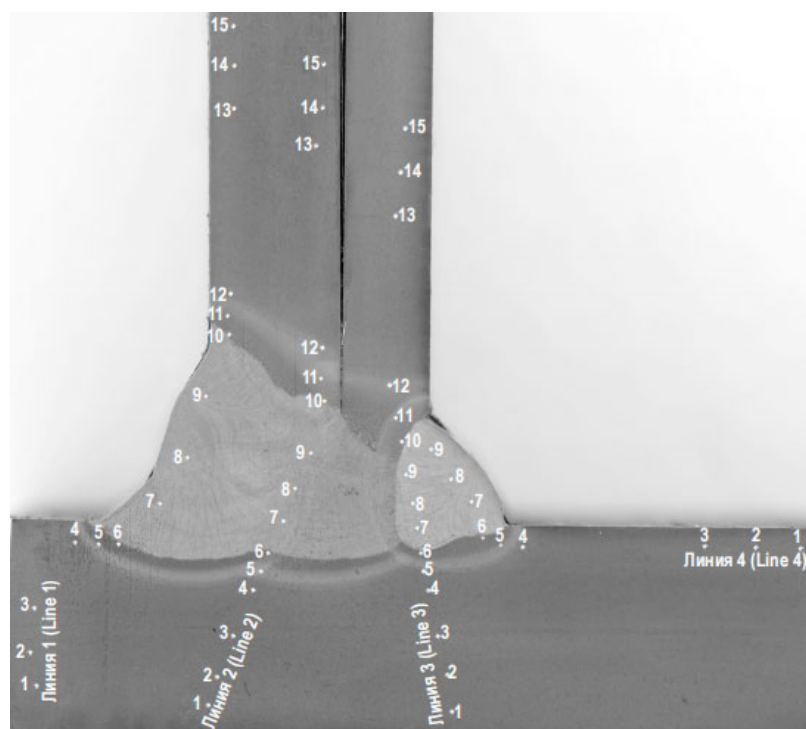
магнитно-прахов контрол; визуален контрол; контрол на плътност; вихротоков контрол; контрол на непрекъснатостта на изолация; контрол на твърдостта; вибродиагностика [7].

Визуален контрол. Резултатът от извършеният визуален контрол показва, че не са регистрирани повърхностни несъвършенства с вид и големина превишаващи изискванията на БДС EN ISO5817:2014 – ниво „В“.

Магнитно прахов контрол. Използван е дефектоскоп Magnaflux Y7, AC/DC №011Y001 със сила на магнитното поле над 4.5 kg с надлъжно намагнитване в приложено магнитно поле. При извършения контрол не са регистрирани линейни индикации с размери, превишаващи изискванията на БДС EN ISO 23278 – ниво „2X“.

Радиографичен контрол. Използван е ТС Рентген ХХН-2505Z. Фокусно разстояние е 700, а чувствителността 13 W. Изследванията са по отношение наличието на пори – сферични, канални, верижни, групирани, продълговати, наличие на шлака и метални включения, пукнатини (основни, напречни и радиални), недозавареност, подкопаване и подрез. Контролираното заварено съединение съответства на изискванията на БДС EN ISO 5817 – ниво „В“, като отсъстват пори ръбестост, шлаки и включения.

Металографски контрол. С металографското изследване се контролират несъвършенства на макро структурата на заваръчен шев – пукнатини, кухини, твърди включения и несъвършена форма и размери (в т.ч. прекъснат и непрекъснат подрез, прекомерна изпъкналост на ъглов заваръчен шев, прокапване, излишно проваряване, прекомерна дебелина на ъглов шев) [8, 9]. Металографският контрол е осъществен на Микроскоп (Microscope) Neophot-2. Металографската снимка е представена на фиг. 3. Проведените наблюдения отговарят на изискванията на ниво на приемане, съгласно БДС EN ISO 5817 за заваряване чрез стопяване на съединения от стомана.



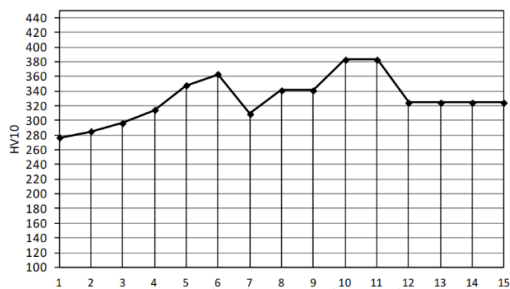
Фигура 3. Металографска снимка на Т-образно челно заварено съединение с четири заваръчни шева

Твърдост по Викерс. Твърдостта е една от най-разпространените характеристики, определящи качеството на металите и сплавите и възможностите за тяхното използване в различни конструкции и при различни условия на работа. Контролът на твърдостта е изследван по Викерс HV10 в направления от четири линии, показани на фиг. 3. Измерена е твърдостта на заваръчния шев, зоната на термично влияние и на основния метал. На фигура 4 са представени зависимостите на твърдостта по Викерс спрямо позициите на изследваните линии.

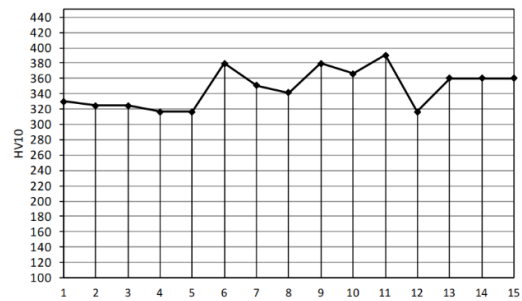
2.2 Разрушителен контрол.

Якост на опън. За да се определи поведението на материала при различни натоварвания са проведени серия от тестове. Тъй като натоварването постепенно се увеличава, аксиалното отклонение на материала се увеличава също. Накрая, тестовата проба се разрушава. Връзката между силата, приложена към материала, и точката на счупване на материала се влияе от структурата на материала.

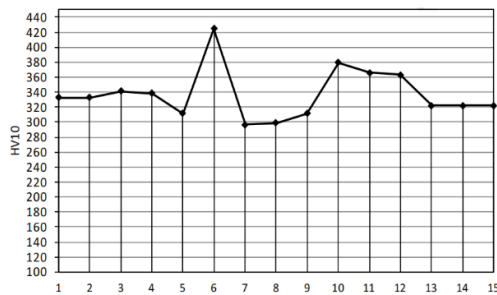
Изследвани са плоски пробни тела $b=20\text{ mm}$ на напречно заварени съединения от четири плавки. На фигура 5 са представени стойностите на якост на опън за всяка плавка. На всяка колонка на фигура 5, е посочено разстоянието на зоната на разрушаване от линия на заваряване с основният метал в mm. При първа плавка разстоянието на разрушаване е от 12 до 19 mm, при втора от 9 до 17 mm, при трета от 14 до 27 mm и при четвърта плавка от 8 до 17 mm от линията на сплавяне. Средната стойност от проведените изпитания на якостта на опън е в диапазона 1024 – 1067,8 MPa. При минимално изискване от 940, съгласно действащият стандарт БДС EN ISO 15614-1- S890 – EN 10025-6, може да се заключи, че изделието покрива необходимите якостни изисквания.



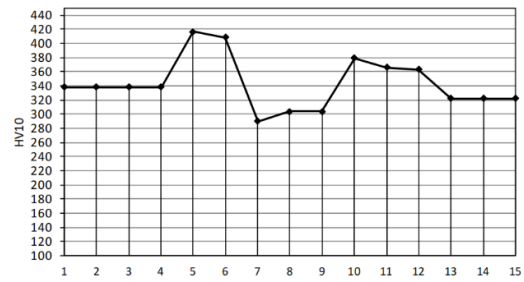
а) HV10 спрямо позиции на линия 1



б) HV10 спрямо позиции на линия 2



в) HV10 спрямо позиции на линия 3



г) HV10 спрямо позиции на линия 4

Фигура 4. Зависимост на твърдост по Викерс (HV10) спрямо изследваните позиции



Фигура 5. Якост на опън

Някои от особеностите, вида и мястото на разрушаване от изпитването на якостите на опън са представени на снимки на фигура 6.



Фигура 6. Скъсване в основния материал.

При всички образци, както се вижда от фигура 6, се получиха задоволителни резултати на якостта на опън.

3. Заключение

T-образно челно съединение е заварено по предварително подобрани технологични параметри. Не са регистрирани повърхностни несъвършенства. Всички стойности на твърдостта измерени по основният метал, зоната на заваръчния шев и термично влияние отговарят на стандартизационните изисквания. Най-високи стойности на твърдост по Вickers имат зоните на термично влияние. Якостта на опън на изследваните образци е в интервала 1024 МПа – 1067 МПа, покриващо изискванията от 940 МПа. Може да се твърди, че подобрите условия и технология на заваряване са удовлетворителни и отговарят на действащите стандарти.

References

1. Tongov M., Welding. part one – Processes, Softtrade, 2009.
2. Mihailov V., V. Kahrin, and P. Petrov, Basics of Welding, Building constructions, 2012.
3. Mihailov L., Welding Technique and Technology, Technika Publishing House 1990.
4. Kamenova L., N. Lolov, P. Penchev, Welding Technique and Technology, Technika, 2008.
5. Pencheva T., M. Yotsova, E. Georgieva, Technology of Machine-Building Materials, Tehnika, 1990.
6. Catalog Manual (ESAB), Welding Additives, ESAB, ESAB Bulgaria Ead, 2012.
7. Stoyanov K., P. Davidov, B. Dyankov, Methods of Non-Destructive Testing, University Publishing House, Bishop Konstantin Preslavski, 2019.
8. Balevski A., Materials Science, Tehnika Publishing House 1975.
9. Gogachev I., M. Karimihova, Metallurgy and Heat Treatment, Technika 1989.



Influence of the Gasifying Agent on the Biomass Gasification Process

Nadejda KAZAKOVA, Emil MIHAYLOV

University of Chemical Technology and Metallurgy, Sofia Bulgaria

e-mail: n_kazakova@uctm.edu

Abstract: The biomass is one of the most important participants in the global transition from traditional fuels such as coal, oil and natural gas to carbon-neutral fuels, as well as in the fight to reduce global warming. To conduct a detailed study of gasification processes, a thermodynamic equilibrium model was developed and numerically implemented, which calculates the composition of a gasifying agent and the composition and quantity of the resulting gas. This software-implemented thermodynamic equilibrium model can be used for different types of gasifiers as well as for different types of biomass.

Keywords: *gasification, biomass, mathematical model, thermodynamic equilibrium model, gasifying agent*

1. Introduction

Renewable energy sources are alternatives to fossil fuels that contribute to reducing greenhouse gas emissions, diversifying energy supplies, and reducing dependence on unreliable and volatile fossil fuel markets, especially oil and gas [1]. European Union legislation to promote renewable energy sources has developed significantly over the past 15 years. In 2018, a target of a 32% share of renewable energy sources in energy consumption in the European Union by 2030 was agreed. In 2021, in view of the European Union's new climate ambitions, the co-legislators were proposed to revise the goal of 40% by 2030 [2].

On 11 December 2019, the Commission presented its Communication on the Low Green Pact (COM(2019)0640). This Green Pact sets out a detailed vision to make Europe climate neutral on the continent by 2050 by supplying clean, affordable and secure energy [2].

Biomass is expected to be a primary source of energy in the future. It is one of the most important participants in the world's transition from more popular fuels such as coal, oil and natural gas to carbon-neutral fuels, as well as in the fight to reduce global warming [3].

The optimal conversion of chemical energy from biomass or other solid fuels into the desired gas or liquid depends on the correct configuration, sizing and selection of operating conditions of the gasifier. Simulation or mathematical modeling of the gasifier allows the designer or engineer to intelligently optimize the operation or design of the plant using available pilot plant experimental data. Through simulations, operational limitations and hazardous or undesirable operational areas, if any, can also be determined. Mathematical modeling provides a less expensive assessment of benefits and associated risk [4].

The thermodynamic equilibrium model predicts the maximum possible yield of the desired product from the reacting system. In other words, if the reactants are allowed to react long enough, they will reach equilibrium. [5].

2. Experiment

To create a thermodynamic equilibrium model for biomass gasification, a system of equations is solved: determining the composition of the gas phase (material balance) and energy balance. When determining the composition of the gas phase in the gasification

process, the hydrogen and oxygen from the moisture of the biomass and the air supplied to the process are included in the material balance. To determine the composition of the gases in the biomass gasification process, the atomic balance of carbon, hydrogen, oxygen and nitrogen is done at $(ER) < 1$ [6].

For the given biomass chemical analysis, air temperature and gasification temperature of the produced gas, combining the mass balance equations with the equilibrium constant equations and the energy balance equation, the equivalence ratio (ER), quantity, composition and calorific value can be determined of the obtained gas, on the basis of which the supplied amount of the gasifying agent and the type of the gasification process can be determined.

Wood chips with the following dry mass composition were selected as biomass [7]:

$$C^C = 49.9 \% ; H^C = 6 \% ; O^C = 42 \% ; N^C = 0.5 \% ; A^C = 1.6 \% ; W^P = 15 \%$$

The studies were conducted under the following conditions:

- Air temperature 20 °C
- Amount of supplied oxygen was set: 21%, 30%, 40% and 50%
- Amount of moisture was set: 5 %, 10 %, 15 % and 20 %
- Temperature after 1 degree of gasification 800 °C
- Final gasification temperature 1200 °C

3. Results and discussion

The gasification model described above was programmatically implemented and simulation studies were conducted at different parameter values to evaluate its effectiveness. This was done with the help of a specially developed algorithm of two-stage gasification, which was implemented programmatically.

Research results show that the amount of gases produced decreases with an increase in the amount of oxygen, because a smaller part of the biomass is burned, but the calorific value of the gas increases (figure 1 to 4).

The results also show that as the supply of oxygen-enriched air as a gasifying agent in the gasifier increases, the calorific value of the gas increases, while with air supply, the calorific value decreases because an additional amount of nitrogen, which is ballast, is added.

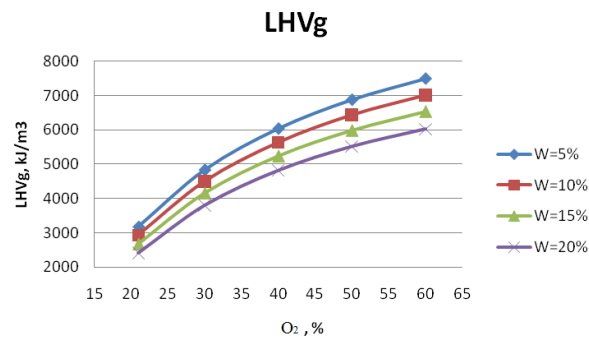


Fig. 1. Calorific value of wet gas

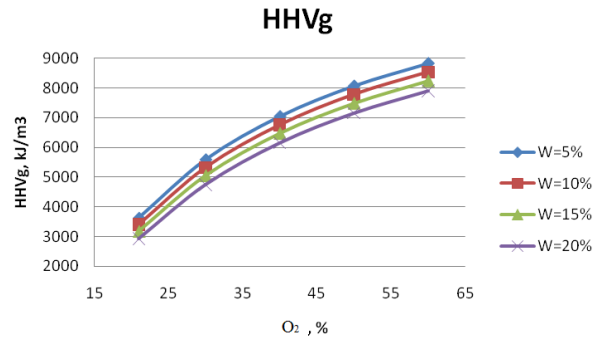


Fig. 2. Calorific value of dry gas

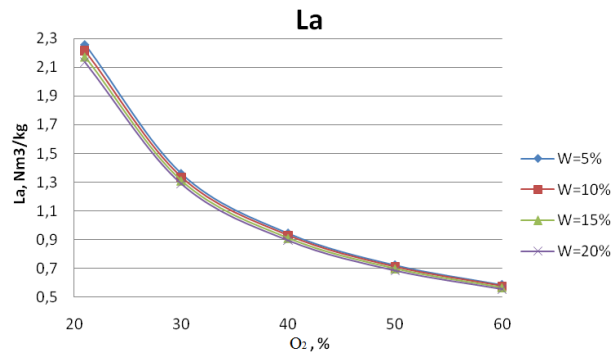


Fig. 3. Amount of air

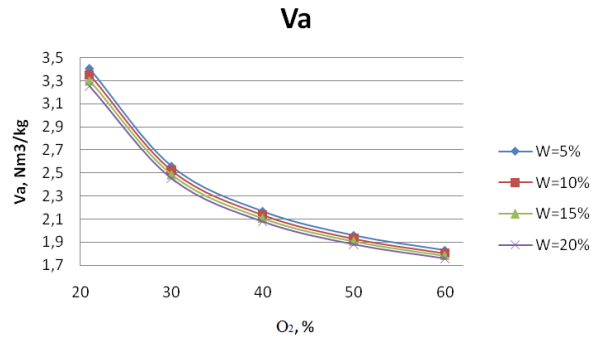


Fig. 4. Amount of gases

4. Conclusion

A thermodynamic equilibrium model for a two-stage regime of biomass gasification, including a material balance of the individual components of the biomass and an energy balance of the system, was developed and programmatically implemented. With its help, the

composition of a gasifying agent and the composition and quantity of the resulting gas are calculated.

This software-implemented thermodynamic equilibrium model can be used for different types of gasifiers as well as for different types of biomass.

Referenses

1. Prabir Basu, Biomass gasification and Pyrolysis, Practical Design and Theory, Elsevier, 2010
2. Information sheets for the European Union, European Parliament, 2021, <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/bg/sheet/70/renewable-energy>
3. Lincoln Stephen F., Fossil Fuels in the 21st Century , Royal Swedish Academy of Sciences 2005.
4. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, ratified by law passed by the 39th National Assembly of 17.07.2002 - State gasette,72 to 25.07.2002. Issued by the Ministry of the Environment and Waters, promulgated, SN, 68 of 19.08.2005, in force since 16.02.2005
5. Schulzke T, —Syngas Cleaning with Catalytic Tar Reforming, Presentation at Gasification 2009, Stockholm. October 2009
6. Venko Petkov, Emil Mihailov, Nadezhda Kazakova, MODELING OF BIOMASS GASIFICATION, Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 49, 1, 2014, 94-98
7. Channiwala S.A., Parikh P.P., A unified correlation for estimating HHV of solid, liquid and gaseous fuels. Fuel 81, 2002.



Real-time Remote Registration of Welding Parameters of TIG Process

Marina MANILOVA

Institute of Metal Science, equipment, and technologies with Centre
for Hydro- and Aerodynamics “Acad. A. Balevski” at the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria
e-mail: mamanil@abv.bg

Abstract

In this paper is presented experimental set-up for real-time monitoring welding parameters remotely via internet. Measured parameters are welding current and voltage and temperature – contact and contactless. Welding voltage and current are measured by welding data monitoring apparatus, contactless temperature by pyrometer and contact temperature by thermocouples and thermocouple data logger. All data is transferred in real-time via internet to remote computer where is visualized and archived.

Keywords: Real-time monitoring welding parameters

Дистанционно регистриране на параметрите на процеса при ВИГ заваряване в реално време

Марина МАНИЛОВА

1. Увод

За осъществяване на дистанционно регистриране на параметрите на процеса при ВИГ заваряване в реално време е разработена лабораторна установка (ЛУ) за провеждане на експериментална дейност – отчитане и съхранение на заваръчните параметри в реално време за избрани заваръчни режими [1,2,3].

Лабораторната установка е показана на фигура 1 и се състои от:

1. Заваръчен апарат Seborga 2030m/Кемпакт Pulse 3000
2. Апарат за следене на заваръчния процес Arc Tracker
3. Проводници за измерване на заваръчен ток
4. Проводници за измерване на заваръчно напрежение
5. Лаптоп към Arc Tracker с инсталиран софтуер Power Wave Manager
6. WiFi рутер TP Link
7. Заваръчна маса
8. Заваръчен трактор
9. Заваръчна горелка
10. Бутилка със защитен газ
11. Заварявани детайли
12. Пирометър Trotec TP10
13. Лаптоп към пирометър с разработен програмен продукт на Matlab за следене на температурата
14. Статив
15. Осем канален температурен регистратор Pico TC 08
16. Лаптоп към Pico TC 08
17. Термодвойки
18. Отдалечен компютър

Добавъчен материал (вид тел \emptyset)	Fe, Ss	0,6 -1,0
	Заваръчни пръчки	0.9 – 1.2
	Al	0.9 – 1.2
	CuSi	0,8 – 1,0

Токоизточникът (1) се свързва към апарата за следене на заваръчния процес Arc Tracker (2) и към заваръчната горелка (9) посредством проводник за измерване на заваръчен ток (3), като по този начин затваря токовия контур. Към заваръчната горелка (9) през токоизточника (1) се подава защитен газ от бутилката (10).

Arc Tracker [6] (2) е високо технологична машина за следене на реалното количество енергия, която се влага по време на заваряване. Подходящ е за заваръчни машини с прав ток (DC). Arc Tracker (2) прецизно измерва заваръчните параметри (напрежение, ток и време на заваряване), като дава в реално време калкулация на вложената енергия в [J], изписвайки я върху цифров дисплей.

Предимствата на Arc Tracker (2) са:

- Следене на заваръчните параметри в реално време с изключителна бързина;
- Съвместим с всяка DC заваръчна машина, процес и телоподаващо устройство
- Автоматично разпознаване на входящото напрежение между 120-230 V AC;
- Свързване към Ethernet мрежа;
- Към него е включен софтуер са следене на заваръчни параметри – Power Wave Manager.
- Точност на измерването с Arc Tracker (2):
- Напрежение $\pm 2\% + 0,1$;
- Ток $\pm 2\% + 2$;
- Енергия $\pm 5\%$.

Arc Tracker (2) затваря токовия контур както следва: заваръчна горелка (9) – заваряван детайл (11) – заваръчна маса (7) – проводник към Arc Tracker (3) – Arc Tracker (2) – проводник към токоизточника (3) – токоизточник (1) – проводник към заваръчна горелка (3). Свързват се възможно най-близо до заваръчната дъга, за да се избегне пад на напрежението в проводниците – единият проводник се свързва към заваръчната горелка (9), а другия – към заваръчната маса (7).

Измерените заваръчни параметри от Arc Tracker (2) се предават и записват в реално време на лаптоп (5), на който е инсталиран софтуер Power Wave Manager, чрез който се наблюдават в реално време и съхраняват заваръчните параметри. Данните се предават в реално време през интернет връзка посредством програмен продукт TeamViewer към отдалечен компютър (18).

WiFi рутерът TP Link (6) създава вътрешна безжична мрежа в заваръчното хале за комуникация между компютрите (5, 13, 16), апарата за следене на заваръчните параметри (2) и интернет пространството. Връзката между Arc Tracker (2) и рутера (6) е посредством LAN кабел. Лаптопите (5, 13, 16), на които се визуализират, измерват и съхраняват заваръчните параметри и температурата се свързват посредством рутера (6) към интернет.

Заваръчната маса (7) служи като работно място за заваряване. Върху нея са поставени заваряваните детайли (11), заваръчния трактор (8) и са свързани проводниците за измерване на ток (3) и напрежение (4). Заваръчната маса служи за затваряне на контура на заваръчния ток.

Заваръчният трактор (8) е разположен върху заваръчната маса (7) и държи заваръчната горелка (9). Неговата височина се регулира, като по този начин се регулира дължината на дъгата. Заваръчният трактор (8) е двупосочен с регулируема скорост и позволява плавно движение на заваръчната горелка (9) над заваряваните детайли (11).

Чрез заваръчната горелка (9) към заваряваните детайли (11) се подава електрическа дъга, която извършва процеса заваряване. През горелката (9) се затваря контура на заваръчния ток и се подава защитния газ. Заваръчната горелка (9) е монтирана на заваръчен трактор (8) за плавно заваряване на детайлите (11). Заваръчната горелка (9) може да бъде използвана, както за МИГ/МАГ заваряване, така и за ВИГ заваряване.

Бутилката със защитен (12) е снабдена с манометър за регулиране на подаваното количество газ. Бутилката е свързана към токоизточника (1) и е обезопасена с верига.

Заваряваните детайли (11) са поставени на заваръчната маса (7), към тях посредством заваръчната горелка (9) се подава заваръчната дъга и защитния газ. Заваряваните детайли са включени в контура на заваръчния ток. Върху тях е фокусиран пирометъра (12) и са поставени термодвойките (17) за контактно измерване на температурата. Заваряваните детайли (11) могат да са планки или тръби прихванати в различни позиции.

Пирометърът Trotec TP10 [7] (12) е фокусиран върху заваряваните детайли (11). Той е свързан към лаптоп (13) посредством USB връзка и е поставен на статив (14). Разстоянието между пирометъра (12) и заваряваните детайли (11) е 120cm.

Пирометърът (12) предава непрекъснато данни към лаптопа (13) на пакети от по 17 байта за всеки отчет.

Параметри на уреда:

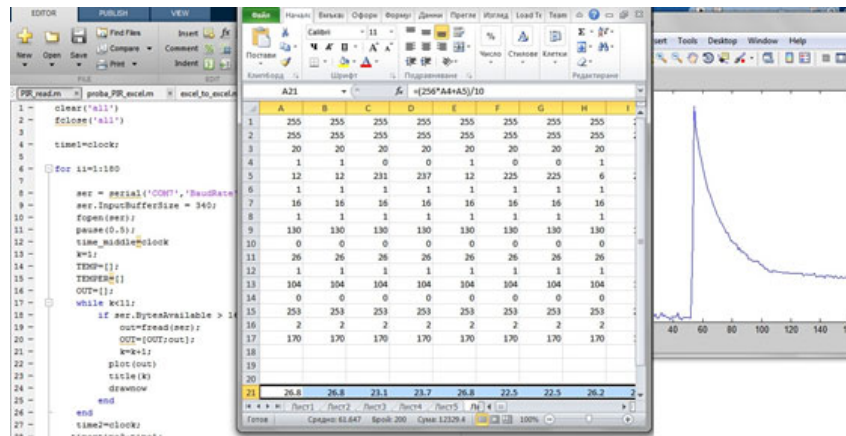
- Температурен диапазон: -50°C до + 1850°C;
- Високата оптична резолюция – D:S 75:1;
- Точност:
 - ±3°C от -50°C до 20°C;
 - ±1% или 1°C от 20°C до 500°C;
 - ±1.5% или 2°C от 500°C до 1000°C;
 - ±2% от 1000°C до 1850°C.
- Време за реакция – 150 ms;
- Резолюция – 0.1°C;
- Емисионен коефициент – регулируем от 0.10 до 1.0;
- Вградена функция за архивиране на 100 измервания;
- Възможностите за прилагане на допълнителни контактни измервания на температурата с помощта на термодвойка тип К – Ni-CrNi;
- Възможност за свързване директно към USB порт на компютър чрез кабел, USB функцията предлага възможност за извършване на серия дългосрочни измервания на температурата.

Излъчвателната способност на пирометъра (12) се настройва преди измерването.

Към пирометъра (12) посредством USB връзка е свързан лаптоп (13). На лаптопа е разработен програмен продукт на Matlab за отчитане, визуализиране (показано на фигура 2) в реално време на температурата и съхранение на стойностите ѝ [8÷18].

Данните от пирометъра (12) постъпват на пакети по 17 байта всеки. Първите два байта са отварящи, а последния е затварящ. Във всеки пакет има информация за текущата температура, максималната, минималната и средната температура за сесията, температурата на околната среда и ако е включена, температурата от термодвойката. Пакетите пристигат в лаптопа (13) през 150ms.

Тъй като лаптопът (13) е свързан към интернет през рутера (6), данните за температурата могат да бъдат достъпни в реално време чрез програмен продукт TeamViewer на отдалечен компютър (18).



Фигура 2. Безконтактно измерване на температура с Пирометър Trotec TP10 и разработения програмен продукт на Matlab

Пирометърът (12) е поставен на телескопичен статив (14) за по-лесно фокусиране на измерваната температура върху заваряваните детайли (11).

Pico TC 08 [19] (15) е осем канален температурен регистратор, чрез който се измерва температурата на повърхността или в обема на заваряваните детайли (11), посредством закрепени термодвойки (17) в реално време.

Параметри на уреда:

- Осем канала за измерване на температурата (компенсацията на студения край може да се използва като девети канал);
- Температурен диапазон: -270 до $+1820$ °C;
- Поддържа всички видове термодвойки;
- Вградена компенсация на студения край;
- Точност при използване на термодвойка тип К (Ni-CrNi) – 0.025 °C за обхвата -250 до $+1370$ °C;
- Скорост на измерване – 10 измервания на секунда;
- Възможност за свързване директно към USB порт на компютър чрез кабел;
- Програмен продукт PicoLog 6 за измерване, визуализиране и съхранение на стойностите на температурата.

Към регистратора Pico TC 08 (15) посредством USB връзка е свързан лаптоп (16). На лаптопа е инсталиран програмен продукт PicoLog 6 за отчитане, визуализиране в реално време на температурата и съхранение на стойностите ѝ.

Тъй като лаптопът (16) е свързан към интернет през рутера (6), данните за температурата могат да бъдат достъпни в реално време чрез програмен продукт TeamViewer на отдалечен компютър (18).

Термодвойките (17) служат за контактно измерване на температурата на повърхността или в обема на заваряваните детайли (11) от температурния регистратор (15). Те се заваряват или притискат към измерваните повърхности или се поставят в ревизионни отвори в обема на детайлите (11). Термодвойките (11) се поставят в точките на интерес. Използват се термодвойки тип К Ni-CrNi или платина 100.

Отдалеченият компютър (18) получава в реално време данните от измерваните параметри от лаптопите (5), (13) и (16). Връзката се осъществява през интернет чрез програмен продукт TeamViewer. На отдалечения компютър (18) данните се отчитат, визуализират в реално време и се архивират след приключване на измерването.

2. Изработване, компановане и проверка на функционалността на лабораторна установка

Лабораторната установка е показана на фигури 3 ÷ 7



Фигура 3 Заваръчен апарат Seborga 2030m



Фигура 4. Пирометър Trotec TP10



Фигура 5. Апарат за следене на заваръчния процес Arc Tracker и рутер



Фигура 6. Осем канален температурен регистратор Pico TC 08 с лаптоп към него

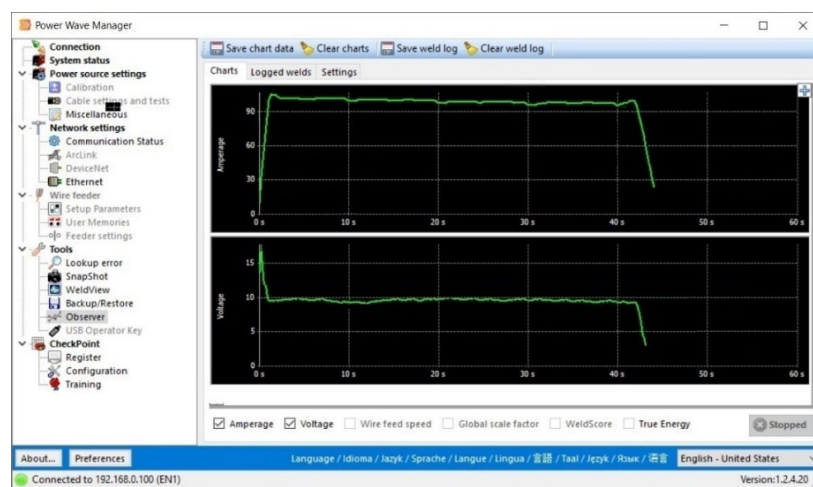


Фигура 7. Планка за наваряване, на която електроискрово са заварени 8 термодвойки – 4 от горната страна и 4 от долната, заваръчен трактор, държащ заваръчната горелка

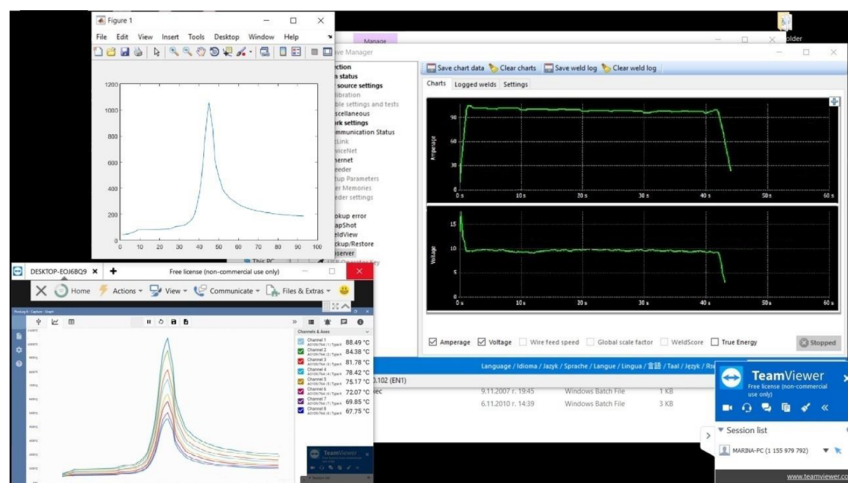
Функционалността на лабораторната установка е проверена чрез ВИГ наваряване на планка. Измерени са заваръчното напрежение и ток, както и температурата – контактно и безконтактно при следните параметри:

- Зададен заваръчен ток от токоизточника 100А;
- Защитен газ аргон с дебит 15 l/min;
- Наваряване на стоманена планка с размери 350x120x6mm;
- Скорост на движение на заваръчната горелка 50cm/min;
- Заваръчен електрод – сив електрод WCe20 Ø 2,4mm

На фигура 8 са показани измерените, от апарата за следене на заваръчни параметри Arc Tracker, стойности на заваръчното напрежение и ток. На фигура 9 е показана крива на измерената температура от пирометъра Trotec TP10, кривите на измерените температури от осем каналния температурен регистратор Pico TC 08 чрез термодвойките, които се предават в реално време по интернет към отдалечен компютър.



Фигура 8. Измерени стойности на заваръчния ток и напрежение от апарата за следене на заваръчни параметри Arc Tracker



Фигура 9. Визуализация на предаваните данни към отдалечен компютър посредством TeamViewer

3. Резултати

Разработена е схема на лабораторната установка, чрез която в реално време могат да се измерват заваръчен ток и напрежение и контактно и безконтактно температура за МИГ/МАГ или ВИГ заваръчни процеси. Функционалността на лабораторната постановка е проверена.

Измерените параметри са предадени към отдалечен компютър през интернет с помощта на програмен продукт TeamViewer, където данните са визуализирани и архивирани.

Благодарности

Тези изследвания станаха възможни благодарение на проект КП-06-Н37/31/19.12.2019, финансиран от ФНИ.

Литература

1. Deyan Gradinarov, Georgi Georgiev. Validation MAGMA model of welding process. V International scientific conference "Mathmodel 2021", 08-11.12.2021, Borovets, Bulgaria, 2021, ISSN:2535-0978(Print), 2603-3003 (Online), 36-37
2. Deyan Gradinarov, Yuri Bijev. Real time capturing welding parameters with tracking module. VI International Scientific Conference Winter Session, Industry 4.0, 08 – 11 December 2021, Borovets, Bulgaria, 2, 2021, ISSN:2535-0153 (Print), 2535-0161 (Online), 265-267
3. Deyan Gradinarov. Points for real time temperature capturing in welding process. VI International Scientific Conference Winter Session, Industry 4.0, 08 – 11 December 2021, Borovets, Bulgaria, 2, 2021, ISSN:2535-0153 (Print), 2535-0161 (Online), 261-262
4. Cebora 2030m Operator's manual.pdf
5. Kempact Pulse 3000 Operator's manual.pdf
6. Linkolc Electric – ArcTracker Operator's manual.pdf
7. Trotec TP10 Operator's manual.pdf
8. Gradinarov D. Real time capturing temperature of welding process. VI International Scientific Conference Winter Session, Industry 4.0, 08 – 11 December 2021, Borovets, Bulgaria, 2, 2021, ISSN:2535-0153 (Print), 2535-0161 (Online), 263-264
9. Gradinarov D. Set up for real time capturing. VI International Scientific Conference Winter Session, Industry 4.0, 08 – 11 December 2021, Borovets, Bulgaria, 2, 2021, ISSN:2535-0153 (Print), 2535-0161 (Online), 259-260
10. Градинаров Д., Бижев Ю.. Следене на скоростта на заваряване в чрез заснемане с камера във видимия спектър. International Journal "NDT Days", Bulgarian Society for NDT (BG S NDT), 2021,, 1, 2021, ISSN:ISSN:2603-4646
11. Gradinarov D., N. Hasan, Y. Bijev. Оптимизация на Преса хидравлична за дискретна екструзия ПХДЕ4000/1000 чрез пирометър IL-92. International Journal "NDT Days", Bulgarian Society for NDT (BG S NDT), 2020, ISSN:2603-4646 (online)
12. Gradinarov D., Y. Bijev, S. Todorov. Апарати за следене на заваръчни параметри в реално време. International Journal "NDT Days", Bulgarian Society for NDT (BG S NDT), 2020, ISSN:2603-4646 (online)
13. Градинаров Д, Бижев Ю. Multi-sensory device for real-time monitoring of environmental parameters. Международното списание "Дни на БК", ISSN: 2603-4018 (print), 2019, ISSN:1310-3946, 228-232
14. Gradinarov D., Bijev Yu., Todorov S. „Fast Contact Thermometer For Temperature Measurements In Cross-Wired EES Process “. NDT days 2017, 2017, ISSN:1310-3940, 285-288
15. Градинаров Д., Бижев Ю., Тодоров Ст., Атанасов И.. „Методология за корегирание на данни от безконтактно измерване на температура при ЕСЗ“, 1, 2016, ISSN:1310-3946, 195-197

16. Градинаров Д., Бижев Ю.. Алгоритъм за автоматично калибриране на пирометри тип П. XXIII Международна конференция „Дефектоскопия’15”, 2015, ISSN:ISSN 1310-3946, 131-133
17. Бижев Ю., Тодоров Ст., Градинаров Д.. Особенности и приложение на инфрачервени термометрични осезатели и сензори. Третата НКМУ “Металознание, хидро и аеродинамика, национална сигурност’2013”, 2013, ISSN:1313-8308
18. Градинаров Д., Бижев Ю., Тодоров Ст.. Особенности и приложения на камери приемащи изображения в инфрачервения спектър. 1, 2013, ISSN:1310-3946, 339-341
19. Pico TC 08 Operator’s manual.pdf