

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 VI / Issue 1

Year 2023

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, 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

Grigorii 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 Research Center of Russian Federation CNITMASH, 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

EDITORIAL OFFICE: International Journal “NDT Days”
Institute of Mechanics, Bulgarian Academy of Sciences
Acad. G. Bonchev Str., Block 4, Sofia – 1113, Bulgaria
phone: +359 899 998942
e-mail: ndtdays@abv.bg
<http://www.bg-s-ndt.org/journal.html>

Publishing of Volume V (2023) of the International Journal “NDT Days” is partially financed by NPP Kozloduy and TU-Varna under the project HФ7/2023.

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 2023 бяха регистрирани присъствено 105 участника от България и чужбина. Бяха представени над 40 доклада и презентации и 23 постерни доклада. Съпътстващи събития по време на проявата бяха XXXVIII международна конференция „Дефектоскопия“ 2023, 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 Откриване на „Дни на БК“ 2023 приветствие направиха директорът на ИМЕХ – БАН – проф. Е. Маноах и директорът на Института по отбрана – полк. доц. д-р Борислав Генев, също така бяха представени приветствия на изп. директор на АЕЦ „Козлодуй“ и на ИА „БСА“.

В конференцията бяха представени резултати по два големи инфраструктурни проекта в България: Център за компетентност (MIRACLe) с водеща организация Институт по Механика – БАН и Център за върхови постижения по информатика и ИКТ с водеща организация ИИКТ – БАН, както и по проект на Института по механика – БАН с НАТО – NATO SPS MYP G6006 “Acoustic Multi-Functional Composites for Environmental Risks and Health Hazards Reduction”.

По време на Деня на дефектоскописта бяха наградени членове на ННТДД за тяхното активно участие в развиване и популяризиране на безразрушителният контрол в България и Света. По време на Дните с мнозинство се взе решение NDT Days 2024 да се проведат съвместно с Деня на дефектоскописта отново в Созопол, в Школата на БЧК, от 10 до 14 юни 2024 г.

Основни спонсори на „Дни на БК“ 2023 бяха: ТУ Варна, АЕЦ „Козлодуй“, Учебен център за безразрушителен контрол към Института по механика при БАН и фирмите „Инновия“, „Контрол“, „Мултитест“, „Контролтест“ и „Намикон 2001“.

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 шестия том на списанието „NDT Days“. В него са публикувани резултатите от съвременни изследвания в областта на приложения 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 2024" will be held from 10 to 14 June 2024 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 2024 Agenda:

1. XXXIX Conference "Defectosopia",
2. XXXV Youth Training Session "Non-destructive testing of structure, physical and mechanical properties of materials",
3. Day of the Defectoscopist,
4. Seminar "Innovative methods and techniques for testing",
5. Seminar "Testing of materials and technological process",
6. Round Table "Powder metallurgy",
7. Round Table "Standardization in NDT",
8. Round Table of Section "Business" of BGSNDT,
9. Round Table "Cooperation of accreditation of laboratories and inspection bodies",
10. Poster session,
11. Exhibition of firms and business presentations.

More information about NDT 2024 can be seen on http://www.bg-s-ndt.org/NDT_Days

Table of Contents

Functional Verification of NDT Equipment	7
Yordan MIRCHEV	
Acoustic Express Tribotesting Technique.....	19
Sergey BUKHAROV, Vladimir SERGIENKO, Alexander ALEXIEV, Vitaliy MERINOV	
Research of Inertial Loads Arising in the Fire Truck Tanks Under the Main Motion Modes	25
Vadim KOVTUN, Sergey KOROTKEVICH, Yordan MIRCHEV, Vyacheslav LODNYA	
Equipment and Machines for the Production of Foam Glass Materials and Composite Products	32
Krasimira TONCHEVA, Lyuben LAKOV, Bojidar JIVOV, Marieta GACHEVA, Gergana MUTAFCHIEVA, Gabriel PEEV, Dimo MIHAYLOV	
Съоръжения и машини за производство на пеностъкдени материали и композитни изделия	
Красимира ТОНЧЕВА, Любен ЛАКОВ, Божидар ЖИВОВ, Мариета ГАЧЕВА, Гергана МУТАФЧИЕВА, Габриел ПЕЕВ, Димо МИХАЙЛОВ	
Investigation of the Effect of Non-Stick Coatings Based on Corundum, Zircon and Graphite on the Formation of the Surface of Complex Relief Castings in Combination with the "Capillary Molding" Method.....	43
Daniela SPASOVA	
Изследване влиянието на противоположни обемни на основата на корунд, циркон и графит върху формирането на повърхността на сложнорелефни отливки в съчетание с метода „Капиларно формование“	
Даниела СПАСОВА	
Layer-by-layer Construction of Metal Parts – Innovative Technology in Metalworking.....	52
Evgeni TONGOV, Krum PETROV, Manahil TONGOV, Yasen HADJITODOROV, Plamen TASHEV	
Послойното изграждане на детайли – иновационна технология в металообработването	
Евгени ТОНГОВ, Крум ПЕТРОВ, Манахил ТОНГОВ, Ясен ХАДЖИТОДОРОВ, Пламен ТАШЕВ	
Methodology of Hybrid Welding Layering and Cladding on Flat Surfaces	57
Nikolay NIKOLOV, Tatyana MESHKAROVA, Nikolay VALCHEV	
Методика за комбинирано напластяване на плоски повърхнини	
Николай НИКОЛОВ, Татяна МЕЧКАРОВА, Николай ВЪЛЧЕВ	



Functional Verification of NDT Equipment

Yordan MIRCHEV

Institute of Mechanics – Bulgarian Academy of Sciences,
bl. 4, Acad. G. Bonchev Str., 1113 Sofia, Bulgaria
Phone: +359 889 998942; e-mail: mirchev@imbm.bas.bg

Abstract

This paper presents an in-depth study of documentary base and literary sources applicable to functional fitness verification of equipment used in non-destructive testing (NDT). An attempt has been undertaken to make a difference between measurement and testing, as well as between calibration of measuring instruments and verification of testing equipment. Validated solutions for verification of non-destructive testing equipment are studied. This paper can be of use for non-destructive inspection bodies or non-destructive testing laboratories in drafting documented procedures functional fitness verification of non-destructive testing equipment.

Keywords: NDT Equipment, functional verification or validation, measurement, test, flaw characterization.

Introduction

This study addresses functional fitness verification of non-destructive testing equipment, used by inspection bodies and testing laboratories.

The functional fitness verification of NDT equipment is not interpreted identically by technical experts and assessors of the National Accreditation Bodies. Sometimes no distinction is made between verification and calibration of equipment. Terms such as measurement and test are interpreted in an incorrect way, and sometimes no distinction is made between them.

A number of questions arise in some of inspection bodies and testing laboratories regarding the functional fitness verification of non-destructive testing equipment. Requirements for such verification are given in the accreditation standards for inspection bodies and testing laboratories [1, 2].

The purpose of this study is to identify, according to standards and their guidelines in force as well as technical specifications: differences between calibration and verification of measuring and test equipment; parameters to verify, criteria to be met by organization conducting verification and period of re-verification.

1. Terms and definitions

Terms “test result” and “measurement result” correspond to two well-defined concepts. In metrology, for measurement the word “quantity” is predominantly used as defined in ISO / IEC GUIDE 99 [3], and for test the word “characteristic” is preferred as defined in ISO 3534-2 [4].

1.1. Terms and definitions in measurement

According to ISO / IEC GUIDE 99 [3], art.1.1 “quantity” is a property of a phenomenon, body, or substance, where the property has a magnitude that can be expressed as a number or a reference, and the term “measurement”, specified in art.2.1 of the same standard, is a

process of experimentally obtaining one or more quantity values that can reasonably be attributed to a quantity.

The measurement process produces a result which does not depend on the method of measurement. Regardless of the use of a calibrated calliper or end block, the result of a measurement of the overall dimension of the same object and under the same conditions should be the same. Measured quantity quantifies the property. The measurement result is accompanied by uncertainty.

According to art. 2.39 of ISO/IEC GUIDE 99 [3], a **calibration of** measuring equipment is an operation that, under specified conditions:

- in a first step, establishes a relation between the quantity values with measurement uncertainties provided by measurement standards and corresponding indications of equipment with associated measurement uncertainties,
- in a second step, uses this information to establish a relation for obtaining a measurement result from an indication.

Calibration should not be confused with adjustment of a measuring system, nor with verification of calibration. Often, the first step alone in the above definition is considered as being calibration.

Adjustment is a set of operations carried out on a measuring system so that it provides prescribed indications corresponding to given values of a quantity to be measured. After an adjustment of a measuring system, the measuring system must usually be recalibrated.

1.2. Terms and definitions for test

According to art.1.1.1 of ISO 3534-2 [4], “characteristic” is distinguishing feature, which helps to distinguish between elements of a given set of phenomena, bodies or substances, and the term „test”, specified in art.3.2.3 of the same standard, is a technical operation that consists of determination of one or more characteristics of a given product, process or service according to a specified procedure.

The test result usually depends on the method and particular procedure used to determine the test characteristic, and sometimes to a large extent. During test, a given characteristic of the test object is indirectly determined by quantitative measurement of another physical information characteristic, depending on the test method and technology used. For example, in ultrasonic test for imperfection in a welded joint using ultrasonic flaw detector and probe the geometric (conventional) dimensions of the imperfection in the welded joint are characterized based on speed, amplitude and field of propagated in the material ultrasonic mechanical wave. In non-destructive testing, flaw characterisation is a process of quantifying size, shape, orientation, location, growth or other properties of a flaw which is based on information obtained from non-destructive testing.

Thus, the test equipment is an equipment for measurement of information characteristics depending on the physical phenomenon of the method used, on the basis of which test of the object is carried out to determine another characteristic (distinctive property). The physical phenomena used in NDT methods are propagation of electromagnetic waves throughout the spectrum of radiation, propagation of mechanical waves, induction of electromagnetic fields, capillary effect, etc.

According to ISO/TS 18173 [5], **calibration of** (non-destructive testing) **test equipment is a** comparison of an instrument with, or the adjustment of an instrument to, known reference(s). The definition of calibration of test equipment as per ISO/TS 18173 [5] gives the same meaning to terms calibration and adjustment, as long as this is in reference to test equipment. Types of adjustment of a **test** equipment include zero adjustment of a test unit measuring system, offset adjustment, and span adjustment (sometimes called gain adjustment).

All equipment used to test or measure in general is an equipment for measuring certain quantities. When the measurement result is used to indirectly determine another characteristic equipment is used for testing. In this case, the equipment used is identified as the test equipment.

1.3. Functional fitness verification of equipment for measurement and for test

Verification NDT and measurement equipment can be divided in two types: verification and validation.

Verification is a provision of objective evidence that a given measurement equipment (process, measurement procedure, material, etc.) fulfils specified requirements, as given in Art. 2.44 of ISO /IEC GUIDE 99 [3]. Such specified requirements may be that the equipment meet a manufacturer's specifications indicating verification characteristics and their acceptance criteria.

Validation (validating, confirmation) is a verification where requirements are specified adequate for an intended use of the unit, according to Art. 2.45 of ISO /IEC GUIDE 99 [3]. Validated requirements can be the Standards for functional fitness verification of the relevant NDT equipment. Such requirements may also be laid down by the owner of the equipment by demonstrating, by written procedure and records thereof, that the verification characteristics are sufficient to carry out the tests with specified reliability.

Verification of test and measurement equipment shall not be confused with calibration. Not every verification is validation.

1.4. Types of verification of measurement and test equipment

A distinction must be made between the different types of equipment verification.

Verification by manufacturer of measurement or test equipment takes place during manufacture, on a representative sample of the same type of equipment produced. This one-off verification by the manufacturer to ensure the conformity of the same series of manufactured equipment with the validated characteristics of a standard or regulation.

Initial functional fitness verification of test or measurement equipment is conducted by the manufacturer before equipment delivery. This verification is done on every single piece of equipment supplied. Validated characteristics from standards and regulations are used for verification. Verification is evidenced by a valid certificate of compliance with a standard and a verification report.

Verification (refers to testing equipment)/calibration (refers to measuring equipment) of equipment before putting into service is made to ensure the requirements for its proper functioning in test equipment and demonstration of traceability to national and international standards for quantities in measuring equipment.

Regular verification/calibration at a certain time interval after the introduction into use of the measuring and test equipment can be carried out by the manufacturer, the owner of the equipment or a testing laboratory. It is done to check the functional fitness after a certain period of use of the test equipment and to check traceability to national and international standards for quantities after a certain period of use of measuring equipment.

Post-repair verification/calibration of test equipment, or post-repair or post-adjustment of measuring equipment is carried out as in the verification/calibration of equipment before putting into service.

Intermediate verification of equipment is done at a certain time interval between two regular verifications/calibrations. With test equipment, intermediate verification is carried out to preset characteristics before each testing or at a specified interval of time according to the

procedure of IB or standard for verification. The intermediate verification is performed by the operator of the device and proves that the result is suitable for use for the intended purposes of the test or measurement. This verification is different from the regular verifications. An example of verification of NDT equipment before the test is given in EN ISO 22232-3 [10]. These verification methods in the standard are not intended to prove the suitability of the equipment for specific applications (initial or regular functional fitness verification). The methods described are suitable for use by operators working in site or workshop conditions. The verification procedure must ensure that equipment is not used until compliance with the required specification has been verified.

Guidelines for determining the periods for regular verification/calibration of IB are found in ILAC – G 24 [8]. It does not specify requirements to initial verification following the one after the equipment is released. Regular verification/calibration is carried out following a documented procedure of IB.

The initial decision in determining the verification/calibration intervals can be taken based on the following factors:

- equipment manufacturer’s recommendations;
- range and requirements of use;
- uncertainty of measurement and maximum permissible deviations from specified criteria;
- validated decisions for interval of following verification/calibration specified in standard or regulation;
- extent and severity of operating conditions;
- frequency and type of intermediate checks;
- effects of environmental conditions.

These and other factors used to determine the initial verification interval are given in ILAC – G 24 [8]. A point system is introduced for each factor and the interval is evaluated according to the number of points collected. The greater the total number of points, the greater the interval for subsequent initial verification/calibration.

1.5. Similarities and differences between calibration and verification

Similarities between calibration and verification are:

- Provide information about the state of equipment;
- Calibrated standards are used, ensuring metrological traceability;
- They are valid under certain conditions, parameters, incl. environmental conditions;
- Obtaining credible and reliable results through equipment.

Differences between calibration and verification are given in table 1.

Table 1. Differences between calibration and verification.

Calibration	Verification
Assigns or corrects values reproduced by measuring equipment or the material measure / Certified Reference Material	Compliance with the tolerances of the tested technical characteristics is checked;
Result includes uncertainty of measurement;	It does not provide correction factors or uncertainty estimates
It plays a major role in performing the measurement	Of importance for the precision, stability and sensitivity of the testing.

2. Requirements to testing equipment in inspection bodies acc. to EN ISO/IEC 17020

Art.6.2 of ISO/IEC 17020 [1] gives information about calibration of measuring equipment including standards, without reference to NDT equipment. As it became clear in the present study, each equipment is used to measure some characteristic, which significantly influences the result of another tested characteristic. Therefore, this information can also be accepted for NDT equipment, but the term “calibration” should be understood as functional fitness "verification". The same applies to the use of the term “calibration” in ILAC-P15 [6], ILAC-P10 [7] and ILAC-G24 [8], it should be understood as functional suitability “verification” when it comes to test equipment.

Before initial use, every measuring or test equipment should undergo verification/calibration, and then IB develops programme for subsequent verification/calibration and intermediate verifications. The programme of verification/calibration should be developed so that there is traceability to national and international standards. The equipment must be subjected to internal verification between regular verifications/calibrations.

The IB must have a developed program (rules) for calibrating standards and measuring equipment of environmental characteristics, as well as a program for selecting a supplier of verification/calibration service, if this is not performed by the IB itself. EN ISO/IEC 17020 [1] includes no requirements to organization performing verification/calibration of equipment. Such a requirement is given in ILAC – P 10 [7].

3. Policy for applying the requirements to the technical equipment according to ILAC – P 15

When controlled environmental conditions are required, equipment used to monitor such conditions should be considered equipment that significantly affects the outcome of inspections. It must be calibrated or have a justification for its non-calibration. All measuring and/or test equipment determining the environmental conditions in performing the test should be verified/calibrated.

Guidance on how IB determines verification/calibration intervals can be found in ILAC – G 24 [8]. Validated decisions can be used to determine the intervals of equipment verification/calibration when there is such information in standards or regulations.

According to ILAC – P 10 [7], it is possible to perform in-house regular calibration of equipment used for measurements. National accreditation bodies are required to have a policy to ensure that such in-house verification/calibration services are carried out in compliance with the respective criteria for metrological traceability given in ISO/IEC 17025 [2].

IBs looking for external services for verification/calibration of their equipment can use any of the approaches defined in ILAC – P 10 [7]. Where equipment is subjected to intermediate verifications in service and between regular verifications/calibrations, the nature of these checks, frequency and acceptance criteria must be clearly defined by the IBs and records of the checks must be kept. The same applies to the calibration programs of reference materials.

NDT equipment is not used before its compliance with the specification defining the characteristics verified has been checked. This specification defining the characteristics for verification can be a technical specification of the device or another specification such as a standard, regulation, or validated procedure of the IB.

In any case, the IB in its verification procedure or the verification procedure of the service provider defines the verification characteristics.

4. Policy of ILAC – P 10 concerning metrological traceability of measurement results for test

Where verification/calibration service requires metrological traceability, the policy of ILAC is the measuring equipment (incl. reference materials) to be verified/calibrated by:

- National metrology institute (NMI), service of which is suitable for the intended use and is covered by the Mutual Recognition arrangement of International Committee of measures and weights (CIPM MRA). Services, covered by CIPM MRA, can be found in the key data comparison database of Bureau International des Poids et Mesures (BIPM KCDB), including CMC of every service specified;
- Accredited calibration laboratory, services of which are suitable for the intended use (i.e. the accreditation scope covers specific suitable verification/calibration), in the case when the National accreditation body is also covered by ILAC Arrangement or regional arrangements recognized by ILAC;
- NMI, service of which is suitable for the intended use, but not under the scope of CIPM MRA. In this case, the accreditation body sets a policy to ensure that these services meet the relevant metrological traceability criteria of ISO/IEC 17025 [2];
- Laboratory, calibration service of which is suitable for the intended use, but not covered by the ILAC Arrangement or regional arrangements, recognised by ILAC. In this case, the accreditation body sets a policy to ensure that these services meet the relevant metrological traceability criteria of ISO/IEC 17025 [2].

The last two approaches are applicable only when the first or the second are not possible for a specific calibration.

In the last case of the above, a guideline is given for performing verification/calibration of equipment by a non-accredited IB for its own needs, as well as using an external non-accredited provider of this service.

For non-accredited IB or Laboratories of verification/calibration services (regardless of whether the service is for internal or external use) it should be noted that a practical assessment can be necessary similar to the one undertaken by an accreditation body to standard ISO/IEC 17025 [2], in order to ensure that a competent verification/calibration is actually carried out.

When metrological traceability to SI is not technically practical it is the responsibility of the accredited organization to select a method to fulfil the metrological traceability requirements using certified values of certified materials provided by competent manufacturer or record the results of suitable comparison with referent measurement procedures, specified methods or consensus standards that are clearly described and accepted as providing measurement results suitable for their purpose. The Accreditation Body assesses the evidence for this comparison.

When metrological traceability only to SI units is not suitable or applicable for the application, a clearly defined measured quantity should be selected. Establishing metrological traceability includes both the proof of identity of the measured property and the comparison of the results with an appropriate declared reference. The comparison is made by ensuring that the measurement procedures are properly validated and/or verified, that the measuring equipment is properly calibrated, and that the measurement conditions (such as environmental conditions) are under sufficient control to ensure a reliable result.

5. Guidelines for the determination of recalibration intervals of measuring equipment according to ILAC – G 24

The laboratory should select the appropriate methods for determining initial and re-verification/recalibration intervals and should document those methods used. The

verification/calibration results should be collected and retained as historical data, in order to form the basis of future decisions for reverification/recalibration intervals of equipment. ILAC – G 24 [8] document provides five methods for determining intervals of regular reverification/recalibration of equipment.

Method 1: Automatic adjustment or “staircase” approach. Each time a piece of measuring equipment is calibrated on a routine basis, the subsequent recalibration interval is extended (or kept unchanged) if the deviation from the reference value is found to be within an appropriately defined percentage of the range between the maximum permissible errors.

Method 2: Control chart. Significant calibration points are chosen, and the results are plotted against time. From these plots, both the dispersion of the results and the instrumental drift are calculated. The instrumental drift is the mean drift normally over one reverification/recalibration interval, although several intervals may be considered in the calculation for very stable measuring equipment. From these figures, the optimum interval may be calculated.

Method 3: “In-use” time. Method 3 is a variation of Method 1 and Method 2. The basic method remains unchanged, but the recalibration interval is expressed in hours of use, rather than in calendar time, e.g. months. Measuring equipment, for example thermocouples used at extreme temperatures, standard lamps of which the drift is subject to their burning time, and dead weight testers for gas pressure or length gauges (i.e. measuring equipment that may be subject to mechanical wear).

Method 4: In service checking, or “black box” testing. Method 4 is also a variation of Method 1 and Method 2 and is especially suitable when a quick/easy verification of the NDT equipment or one of its components is possible. Critical parameters are checked frequently (e.g. once a day or even more often) by portable calibration gear, or preferably, by a “black box” designed specifically to verify the selected parameters. If the measuring equipment is found to be outside the maximum permissible error (or any other set of limits as required) by the “black box” or portable calibration equipment, it is returned for a full calibration and adjustment if necessary.

Method 5: Other statistical approaches.

Methods for determining recalibration intervals developed by or adapted from the laboratory can also be used if they are appropriate and validated.

Verification/calibration records from an accredited Laboratory or IB can be used to determine recalibration intervals.

Where there is a standard for functional fitness verification and a minimum re-verification period is specified, it can be used as a validated solution to determine the re-verification period. When there is no given period for re-verification in the standard, it is determined by IB according to one of the above methods.

6. Characteristics for functional verification of non-destructive testing equipment

6.1. Selection of characteristics for functional fitness verification of non-destructive testing equipment

Characteristics for functional fitness verification of NDT equipment can be determined from:

- technical specification of the NDT equipment;
- validated characteristics specified in standards and regulations on verification of NDT equipment;
- other characteristics defined by IB in a validated written procedure for equipment verification.

In all cases, characteristics are specified by IB in its documentation. Whichever path chooses the IB for verification (in-house verification or using a supplier) they must demonstrate that the verification characteristics they choose ensure the reliability and precision of the test results. The verification characteristics specified by IB must be validated. IB may choose to use only a part or all validated characteristics from the standards or to use such from technical specifications, proving (validating) that they are sufficient for the purposes of the tests conducted using NDT equipment. They must demonstrate that the result obtained is reliable and accurate for the purposes of the test carried out.

6.2. Validated characteristics for functional fitness verification of non-destructive testing equipment

In table 2, an example is given for validated characteristics through a standard on verification of ultrasonic non-destructive testing equipment. Validated characteristics for verification of equipment used for other non-destructive testing methods can be found in [12 ÷ 22].

Table 2. Validated characteristics for functional fitness verification of ultrasonic test unit (conventional and multichannel) and ultrasonic thickness meter.

Method	Equipment	Standard	Characteristics and their criteria	Reverification time interval
UT	Ultrasonic test unit (conventional)	EN ISO 22232-1 [9]	Group 2: 1. Physical state and external aspects (9.2); 2. Transmitter (voltage, pulse rise time and duration) (9.3); 3. Receiver (Frequency response, Noise level, Gain linearity, Vertical display linearity) (9.4)	1 year
UT	Ultrasonic test unit (multi-channel)	EN ISO 18563-1 [10]	Group 2: 1. Physical state and external aspects (9.2); 2. Transmitter (voltage, pulse rise time and duration, time delays linearity) (9.3); 3. Receiver (Frequency response, Noise level, Gain linearity, differences in channel gain, Vertical display linearity, time delays linearity) (9.4)	1 year
UT	Ultrasonic thickness meter	EN 15317 [11]	Group 2: Physical state and external aspects (10.4); General characteristics (low battery warning (9.4), Operating voltage range (9.6), Operating current (9.7); Transmitter (Pulse repetition rate (9.9), pulse shape, rise time and peak voltage (9.10); Performance characteristics (minimum and maximum measurable thickness (9.12), accuracy and resolution (9.13), calibration setting storage (9.16)); Display (recall of records to display (9.19)).	1 year

6.3. Presentation of results of verified functional suitability characteristics of non-destructive test equipment

Verification is evidenced by the marking and/or issuance of a verification certificate of equipment. The document providing results of verification must show precisely and clearly the characteristics verified. Where the verification characteristics are defined in a standard or in a technical specification of the equipment, Testing Report must clearly state according to which paragraph of the standard the verification was carried out.

The certificate of conformity of NDT equipment, after verification of the later, shall not refer to the standard or technical specification if there are any of the paragraphs of the standard or technical specification on which the test has not been carried out. Reference should be made of the document and the paragraphs according to which the verification was carried out. It is the responsibility of IB to see to these requirements in documents received from the verification.

7. Organizations for verification non-destructive testing equipment in Bulgaria

In Bulgaria, two IBs provide the verification of NDT equipment services, as illustrated on photographs in Fig.1 and Fig. 2. The scope of accreditation for the equipment verifications and calibrations performed can be found at the EA "BAS" website.

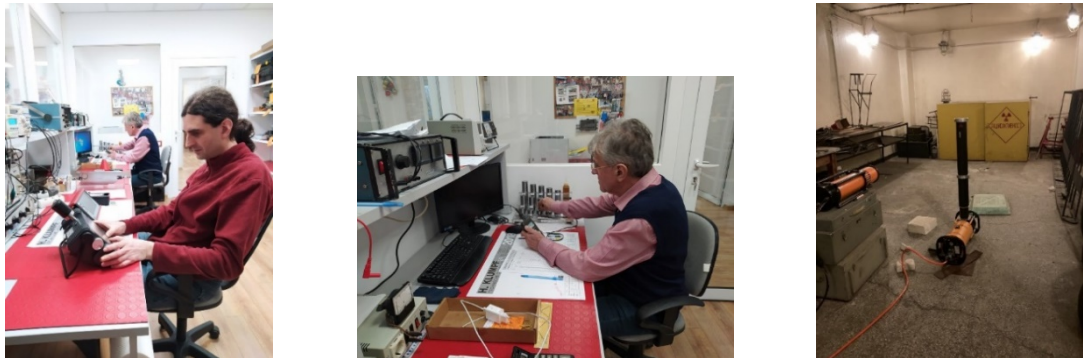


Fig. 1. Inspection Body in OMEL NDT, accredited by EA “BAS” to perform functional fitness verification of NDT equipment



Fig. 2. Inspection Body and Calibration Laboratory in MULTITEST LTD, accredited by EA “BAS” to perform functional fitness verification of NDT equipment and calibration of test equipment.

Conclusion

As a result of the review of literature sources on conducting testing and measurement with equipment and the analysis made, Table 3 summarizes the following conclusions regarding the terms and definitions applied.

Table. 3. Conclusions with regard to the terms and definitions applied for performance of testing and measurement using equipment

Terms and definitions	Test	Measurement
Result	“characteristic” is distinguishing feature, which helps to distinguish between elements of a given set of phenomena, bodies or substances	“quantity” is a property of a phenomenon, body, or substance, where the property has a magnitude that can be expressed as a number or a reference (for example by reference standard)
Definition	“test” is a technical operation that consists of determination of one or more characteristics of a given product, process or service according to a specified procedure	“measurement” is a process of experimentally obtaining one or more quantity values that can reasonably be attributed to a quantity (for example for the length can be attributed to quantity meter)
Result obtained	The test result depends on the method and particular procedure used to determine the test characteristic, and sometimes and no uncertainty statement is largely required (relative or equivalent size)	The measurement result does not depend on the method used for measurement and the uncertainty is stated
Equipment	test equipment is practically equipment for measuring the quantitative value of a quantity(ies) used to determine the tested characteristic (test is indirect except for the readout equipment)	measuring equipment determines the quantitative value assigned to a measured quantity(ies) (the measurement can be direct using readout equipment or indirect)
Calibration	comparison of an instrument with, or the adjustment of an instrument to, known reference(s).	In a first step, it establishes a relationship between the quantity values and their uncertainty of measurement, obtained through the standards and the corresponding indications of the equipment with the added uncertainty of measurement. In a second step, this information is used to establish a dependency to obtain a measurement result from an indication.
Adjustment	Terms calibration and adjustment are synonymous for equipment used to test	a set of operations carried out on a measuring system so that it provides prescribed indications corresponding to given values of a quantity to be measured. After an adjustment of a measuring system, the measuring system must usually be recalibrated.

Verification	a provision of objective evidence that a given test/measurement equipment (process, test/measurement procedure, material, etc.) fulfils specified requirements	
Validation	a verification where requirements are specified adequate for an intended use of the unit	
Characteristics for verification	<p>Characteristics of verification of test equipment/measurement can be determined from:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Technical specification of equipment (verification); – validated characteristics specified in standards and regulations on verification of equipment; – other characteristics defined by IB in a validated written procedure for equipment verification (validation). <p>In all cases, characteristics are specified by IB using the equipment in its documentation.</p>	
Types of verifications/calibrations	<ul style="list-style-type: none"> – Verification by a manufacturer of a sample of the equipment model produced to validated characteristics; – Initial functional fitness verification of test equipment is conducted by the manufacturer before every piece of equipment delivery according to standard or regulation; – Verification of equipment before putting into use; – Regular verification at a certain time interval after the introduction into use of the equipment can be carried out by the manufacturer, the owner of the equipment or a testing laboratory. – Post-repair verification of equipment is carried out as in the case of equipment verification before putting into use. – Intermediate verification of equipment is done according to set characteristics before conducting each testing or at a certain period according to the procedure of IB or standard on verification. The intermediate verification shall be carried out by the test unit operator and shall demonstrate that the equipment is fit for its intended use. This verification is different from regular checks. 	<ul style="list-style-type: none"> – Verification by a manufacturer of a sample of the equipment model produced to validated characteristics; – Initial functional fitness verification of measuring equipment is conducted by the manufacturer before every piece of equipment delivery according to standard or regulation; – Calibration of equipment before putting into use; – Regularly calibration at a certain time interval after the introduction into use of the equipment can be carried out by the manufacturer, the owner of the equipment or a testing laboratory. – Post-repair or post-adjustment calibration of equipment is carried out as in the case of equipment calibration before putting into use. – Intermediate verification of equipment is done at a certain period between two regular calibrations. The intermediate verification shall be carried out by the instrument operator and shall demonstrate that the result is usable for the specified measurement purposes.
Organization carrying out verification/calibration of equipment	<ul style="list-style-type: none"> – National Metrological Institute (NMI), Laboratory or IB, verification service of which is suitable for the intended use; – According to ILAC–P10, it is possible to perform in-house regular verification of equipment used for tests. <p><i>Note:</i> National accreditation bodies are</p>	<ul style="list-style-type: none"> – National Metrological Institute (NMI) or Laboratory, calibration service of which is suitable for the intended use; – According to ILAC – P 10, it is possible to perform in-house regular calibration of equipment used for measurements. <p><i>Note:</i> National accreditation bodies are</p>

	required to have a policy to ensure that such in-house verification services (or external from a non-accredited Laboratory or IB) are carried out in compliance with the respective criteria for metrological traceability set in ISO/IEC 17025.	required to have a policy to ensure that such in-house calibration services (or external from a non-accredited Laboratory or IB) are carried out in compliance with the respective criteria for metrological traceability set in ISO/IEC 17025.
--	--	---

References

1. ISO/IEC 17020 (ISO/IEC WD 17020, stage 20.20). Conformity assessment – Requirements for the operation of various types of bodies performing inspection.
2. ISO/IEC 17025. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
3. ISO/IEC GUIDE 99. International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM).
4. ISO 3534-2. Statistics – Vocabulary and symbols – Part 2: Applied statistics.
5. ISO/TS 18173. Non-destructive testing – General terms and definitions.
6. ILAC – P 15. Application of ISO/IEC 17020:2012 for the Accreditation of Inspection Bodies.
7. ILAC – P 10. ILAC Policy on Metrological Traceability of Measurement Results.
8. ILAC – G 24. Guidelines for the determination of recalibration intervals of measuring equipment.
9. EN 61010-1. Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use – Part 1: General requirements.
10. EN ISO 22232-1. Non-destructive testing – Characterization and verification of ultrasonic test equipment – Part 1: Instruments.
11. EN ISO 18563-1. Non-destructive testing – Characterization and verification of ultrasonic phased array equipment – Part 1: Instruments.
12. EN 15317 (prEN ISO 16831, stage 10.99). Non-destructive testing – Ultrasonic testing – Characterization and verification of ultrasonic thickness measuring equipment.
13. EN ISO 9934-3. Non-destructive testing – Magnetic particle testing – Part 3: Equipment
14. EN ISO 3059. Non-destructive testing – Penetrant testing and magnetic particle testing – Viewing conditions.
15. EN ISO 15548-1. Non-destructive testing – Equipment for eddy current examination – Part 1: Instrument characteristics and verification.
16. EN 12543-2. Non-destructive testing – Characteristics of focal spots in industrial X-ray systems for use in non-destructive testing – Part 2: Pinhole camera radiographic method.
17. EN ISO 16526-1. Non-destructive testing – Measurement and evaluation of the X-ray tube voltage – Part 1: Voltage divider method
18. EN 25580. Non-destructive testing – Industrial radiographic illuminators – Minimum requirements.
19. EN 13477-1. Non-destructive testing – Acoustic emission – Equipment characterisation – Part 1: Equipment description.
20. EN 13477-2. Non-destructive testing – Acoustic emission testing – Equipment characterisation – Part 2: Verification of operating characteristics.
21. ISO 12713. Non-destructive testing – Acoustic emission inspection – Primary calibration of transducers;
22. ISO 12714. Non-destructive testing – Acoustic emission inspection – Secondary calibration of acoustic emission sensors.



Acoustic Express Tribotesting Technique

Sergey BUKHAROV¹, Vladimir SERGIENKO¹, Alexander ALEXIEV², Vitaliy MERINOV¹

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

Obtaining operational data on the wear parameters during friction is an important scientific and practical problem. These data on the parameters of the friction process, extracted from acoustic emission signals, can provide detailed information about the current state of wear mechanisms and changes in rubbing material properties over time. This article discusses the concept of a method for the quantitative assessment of the wear properties of a given class of tribological materials, based on the experimentally discovered connection between the spectral characteristics of acoustic emission (noise) in the audio frequency range above 8 kHz and the linear wear rate of polymer friction composites for work in stationary friction units.

Keywords: friction, wear, acoustic emission, noise, spectral characteristics, friction composite

1. Introduction

New polymer composite materials with improved technical and environmental characteristics for friction purposes are key factor in the creation of high-tech components for mechanical engineering, ensuring maintenance, and increasing competitiveness [1-3]. When creating new friction materials, a number of problems can be identified, the solution of which is necessary to achieve a certain set of technical and other requirements for friction materials: necessity, ensuring a given value and stability of the friction coefficient, and independence of the nature of sliding friction from operating and meteorological conditions. In addition, friction materials must be well suited to the counterbody, not wear out or adhere to it, have sufficient mechanical strength, high wear resistance, appropriate thermophysical properties, and high frictional heat resistance, meet the requirements for corrosion resistance, non-flammability, low tendency for frictional self-oscillations and noise in the audio frequency range, comfort (smoothness) when braking, environmental friendliness, manufacturability, acceptable cost, and an accessible raw material base. In real conditions, friction materials are exposed to the most unfavorable operational factors – high and alternating temperature and dynamic loads, high sliding speeds, intense wear, often in the presence of various aggressive media (salt solutions, oil products, acids, etc.).

The standard test methods (bench and road) available today make it possible to obtain adequate design and materials science solutions aimed at developing friction materials that are balanced in terms of their main performance characteristics. A significant drawback when using these methods, including life-saving bench and operational tests, due to the duration and complexity of the tests, is the extremely high time and financial cost of developing the material. During the development of friction composite formulations, it is important to have a set of express methods that can reduce the time required to obtain a friction composite that is balanced across the entire range of performance characteristics, from a model composition to a prototype ready for life tests. Based on the results of the research, an acoustic express method for testing friction materials for work in stationary friction units has been proposed,

which can significantly reduce the duration of tribological tests in terms of determining wear resistance, as well as provide additional information content of experimental data regarding the generated acoustic emission in the audio frequency range.

2. Materials and methods

Analyzing the results obtained by the authors in a number of experimental studies [4-8], aimed at studying the influence of the component composition of friction materials under various load-speed test conditions on the spectral characteristics of noise during friction, it was established that there is a stable correlation between the high-frequency acoustic emission in the area of the sound frequency range (above 8 kHz) and the linear intensity of the wear process of rubbing materials. This correlation was first discovered when studying the influence of thermally cross-linked oligoimide maleid-F (M-F) and basalt fibers (BV) on the tribotechnical and acoustic characteristics of highly filled friction materials based on polytetrafluoroethylene (PTFE) for stationary friction units in technological machines [4]. This correlation was first discovered when studying the influence of the multi-purpose chemical modifier Maleid-F (M-F), which is a composition of 75% metaphenylenedimaleimide, 20% C₁₇₋₂₀ fractions and 5% naphthane plasticizer, on the tribological and acoustic characteristics of highly filled friction materials based on polytetrafluoroethylene (PTFE) for stationary friction units of technological machines [4]. A concentration range of the binary filler (BV+M-F) from 2.5 to 20% of the volume was chosen, with a ratio of BV/M-F components from 1 to 3 as a factor that objectively influences the wear process.

The essence of the proposed method, the applicability of which is discussed in relation to the class of friction materials under study under sliding friction conditions during stochastic interaction of microroughnesses of solid bodies, i.e. outside self-oscillatory states, is based on the assumption that there is a relationship between the spectral density of the acoustic radiation spectrum $G(f)$ and the linear wear intensity I_h , expressed through the area S (Fig. 1), limited by the curves of two spectral functions – the reference function $G_0(f)$, corresponding to background acoustic radiation with conditionally zero wear intensity, and the curve of the signal function $G_1(f)$ generated during friction of the test sample within the analyzed frequency range from f_1 to f_2 , i.e.

$$S = S(I_h) = \int_{f_1}^{f_2} G_1(f)df - \int_{f_1}^{f_2} G_0(f)df \quad (1)$$

It is proposed to use a normalized wear coefficient \bar{w} as a parameter for quantitative assessment of the intensity of the wear process, extracted from acoustic emission signals.

$$\bar{w} = \frac{S}{S_{\max}}, \quad (2)$$

where S_{\max} is the upper limit of the range of values of S for the selected class of materials under study, determined by the expression (1).

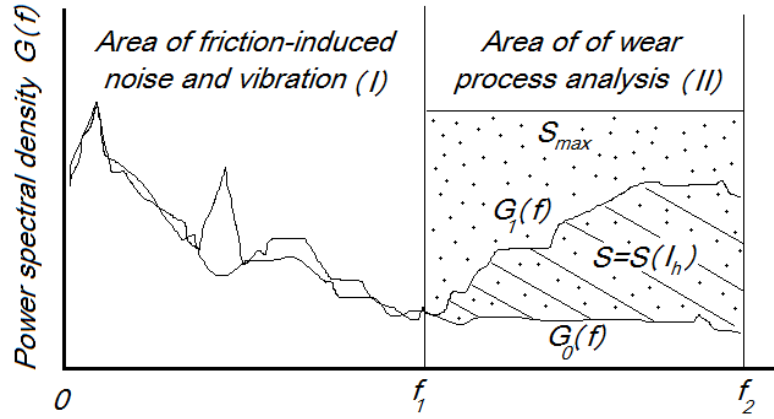


Fig. 1. Relationship between the spectral density of the acoustic radiation spectrum and the linear intensity of wear: the area of noise and vibration as a consequence of frictional self-oscillations (I); area of analysis of wear processes during stochastic interaction of microroughnesses (II)

Testing of the proposed acoustic express method was carried out with stationary friction of samples according to the kinematic scheme “shaft–partial liner” using measuring instruments and a vibro-acoustic test setup, the general diagram of which is presented in Fig. 2. The counterbody material was steel grade 45 with a hardness of up to 50 HRC. The initial roughness of the friction surface is $R_a = 0.52 \mu\text{m}$. The running-in of the friction pair and friction-wear tests were performed at a specific load of $P = 1 \text{ MPa}$ and a relative sliding speed $\varrho = 1 \text{ m/s}$. Running-in was performed until the actual frictional contact area reached at least 90% of the contour area. The ambient temperature during testing was in the range of $T = 18\text{--}23^\circ\text{C}$, and the relative humidity was no more than 50%. The kinetic dependence of the friction force was recorded using the chart tape of the recording device. The temperature in the friction contact area was determined by using a DT-8839 pyrometer with an accuracy of $\pm 2^\circ\text{C}$. The linear wear rate was determined using the following equation:

$$I_h = \frac{m_0 - m_k}{\rho \cdot \sigma \cdot L}, \quad (3)$$

where m_0 is the initial mass of the sample, kg; m_k – mass of the sample after testing, kg; ρ – density of the sample material, kg/m^3 ; $\sigma = 2 \text{ cm}^2$ – contour area of frictional contact; $L = v \times \tau$ – test run length, m.

The densities of the samples were determined by hydrostatic weighing on an XS 204 DR Mettler Toledo analytical balance. After the running-in and each test, the surface of the metal counterbody was cleared of the transfer film by grinding with an abrasive material (P320). Wear tests were carried out in the stationary friction mode without lubricant. Acoustic emission signals generated by the friction pair were recorded at a specific load of $P = 2 \text{ MPa}$ and a relative sliding speed $\varrho = 1 \text{ m/s}$.

Acoustic emission signals and the corresponding spectral characteristics generated during stationary friction of the test samples were recorded using a multi-channel data collection and analysis system Pulse 3560 B (Bruel & Kjaer), unipolar measuring microphone 4961 (Bruel & Kjaer), acoustic intensimeter 3599 (Bruel & Kjaer), photoelectric tachometer MM0024 (Bruel&Kjaer), and digital signal processing using frequency FFT analysis methods.

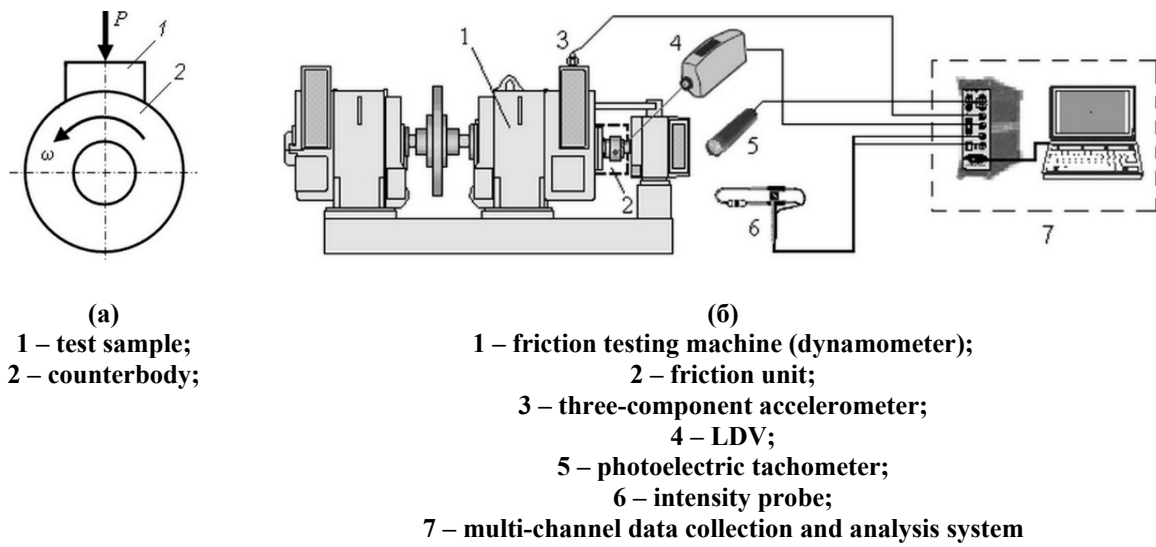


Fig. 2 – Kinematic (a) and general diagram of the experimental setup for tribotechnical testing of friction materials (b)

3. Results and discussion

The results of standard tribological tests in part of determining the linear wear rate of PTFE-based polymer composites with a test duration of $\tau = 2$ hours, presented in Fig. 3.

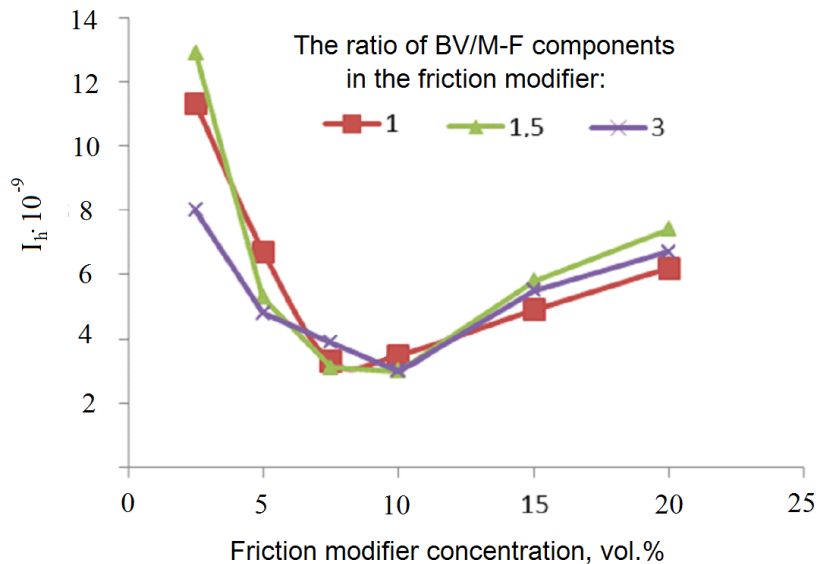


Fig. 3 – Dependence of the linear wear rate I_h on the content of the modifying component (BV+M-F) in the friction composite for different values of the volume ratio of fillers at $P = 2$ MPa, $\vartheta = 1$ m/s, $\tau = 2$ h

It has been shown that the introduction of a combined modifier consisting of Maleid-F (M-F) and crushed basalt fibers (BF) into the base friction composite leads to a rapid decrease in the linear wear rate within a concentration range of up to 7.5-10% vol. A further increase in the content of the combined modifier leads to a monotonous increase in the wear rate (decrease in wear resistance) of the composites. The corresponding characteristics of acoustic emission, reflecting the relationship between the spectral density of noise in the audio frequency range above 8 kHz and the linear wear rate of the composite at a volumetric ratio of BV/M-F components = 1.5, are presented in Fig. 4.

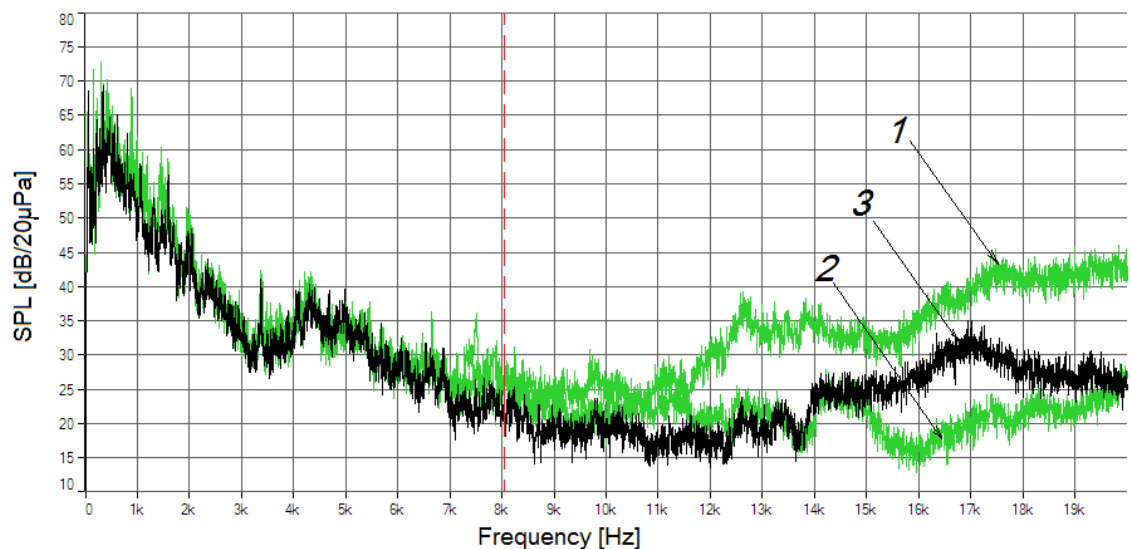


Fig. 4. The results of measuring the spectral characteristics of acoustic radiation during stationary friction of friction composites with different contents of the modifying component (BV+M-F mixture), which determines their wear characteristics (I_h) in accordance with the data in Fig. 3: 1 – 2.5 % vol. ($I_h \cdot 10^{-9} = 12.5$); 2 – 10 % vol. ($I_h \cdot 10^{-9} = 3.0$); 3 – 20 % vol. ($I_h \cdot 10^{-9} = 7.5$)

4. Conclusion

The results of studies on the tribotechnical and corresponding acoustic characteristics of composites under stationary friction demonstrate the presence of an unambiguous correlation between the wear intensity and spectral density of acoustic emission in the sound frequency range above 8 kHz. The discovered correlation forms the basis of an express acoustic method, which allows one to significantly reduce the duration of tribotechnical tests of friction materials for work in stationary friction units in terms of determining wear resistance as well as providing additional information about the generated acoustic emission in the audio frequency range.

References

1. Sundarkrishna K. L. Friction Material Composites: Materials Perspective. Switzerland: Springer, 2-nd edition, 2015. 372 p.
2. Sergienko V.P. Noise and Vibration in Friction Systems /V.P. Sergienko, S.N. Bukharov. Switzerland: Springer, 2015. 251 p.

3. Pleskachevsky Yu.M. Friction materials with a polymer matrix: research prospects, achieved level, market / Yu.M. Pleskachevsky, V.P. Sergienko // Science and Innovation. 2005, No. 5, pp. 47 – 53.
4. Bukharov S.N., Merinov V.K., Sergienko V.P., Grigoriev A.Y. & Negmatov S.S.: Effect of the M-Phenylenediamine on the Tribotechnical and NVH Characteristics of the Frictional Composite Materials Based on PTFE. Lecture Notes in Networks and Systems (LNNS), Vol. 233 (2021), pp. 442–449.
5. Bukharov S.N. Study of the Influence of the Iron Oxide (III) on the Tribotechnical and Vibroacoustic Characteristics of the Frictional Composites for the Stationary Friction Units / S.N. Bukharov, V.K. Merinov, V.P., A.N. Senatrev, V.P. Sergienko // Friction and wear. 2018. T.39, No. 6. pp. 364-370.
6. Bukharov S.N. Triboacoustic Characteristics of Copper-Based Powder Frictional Composites for Operation in Dry and Boundary Friction Conditions / S. N. Bukharov, A. Ph. Ilyushchenko, A. V. Leshok, V. K. Merinov, A. N. Rogovoi, and V.P. Sergienko // Journal of Friction and Wear, 2020, Vol. 41, No. 6, pp. 487–491.
7. Bukharov S.N. Influence of Treatment with Non-Equilibrium Low-Temperature Plasma on Dynamic Mechanical and Tribotechnical Characteristics of Friction Polymer Composites / S. N. Bukharov, A. G. Anisovich, I. I. Filatova, T. A. Akhmetov, V. P. Sergienko, and A. Ya. Grigoriev // Journal of Friction and Wear, 2021, Vol. 42, No. 3, pp. 139–145.
8. Sergienko V.P. Effect of a High-Frequency Electromagnetic Field on Dynamic Mechanical and Tribotechnical Characteristics of Frictional Composites with a Thermosetting Polymer Matrix / V.P. Sergienko, S.N. Bukharov, A.G. Anisovich, N.S. Abed, and A.Ya. Grigoriev // Journal of Friction and Wear, 2021, Vol. 42, No.6, pp. 401-407.



Research of Inertial Loads Arising in the Fire Truck Tanks Under the Main Motion Modes

Vadim KOVTUN¹, Sergey KOROTKEVICH¹,
Yordan MIRCHEV², Vyacheslav LODNYA³

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

² Institute of Mechanics of the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria;
e-mail: mirchev@imbm.bas.bg, mtdd@abv.bg

³ Belarusian State University of Transport; Gomel, Belarus;
e-mail: lodnja@rambler.ru

Abstract

The operating conditions of fire trucks indicate high operational loading of tank structures. As a result of experimental studies, dependencies that connect the modes of movement of fire trucks on the MAZ-5337 and MAZ-6317 chassis were established. The values of acceleration that occurs under the action of inertial loads in the structures of tanks with a volume of 5, 8 and 10 m³ were taken into consideration. It has been experimentally confirmed that the modes and operating conditions of fire trucks determine high level of inertial extensions uprising in tank.

Keywords: fire truck tank, motion mode, accelerometer, inertial loads.

1. Introduction

In the production of fire trucks, it is highly important to comply with the increased requirements for the structural strength of the tank itself, which undergoes significant loads when moving [1]. The process of liquid cargo transportation is characterized by large movements of the cargo's mass center in the tank. This is primarily due to the daily operation of fire trucks in the “acceleration”, “braking”, and “turn” modes. According to statistics, more than 60 % of all fires in our country occur in rural areas, as well as in natural ecosystems, which makes it necessary to carry out the movement of fire trucks on country roads, as well as in the off-road conditions. Under these conditions, tank structures experience significant inertial loads transmitted through the chassis frame and from the transported liquid. Thus, the acting dynamic loads on the tank structure determine the accelerations that cause inertia forces when the fire truck is moving. As a result, there is often a violation of the tightness of tank structures due to the high operational load.

2. Research methods

Nowadays vibration diagnostics is modern and accurate means of condition monitoring of complex technical systems that are exposed to many factors in various operating conditions. These primarily include road transport [2–4]. In general, for the purpose of vibrational condition monitoring of the of machines, the following devices are used: accelerometers, the output signal of which is subjected to the appropriate transformation to obtain the required value; speed sensors, the output signal of which can be integrated to obtain a displacement signal; contactless sensors, the output signal of which is proportional to the relative movement of the moving parts of the machine [5]. Accelerometers are inertial type

sensors. Their output signal is proportional to the acceleration of the surface on which they are mounted. The choice of the sensor depends on the conditions of its application.

Contact type sensors are piezoelectric and piezoresistive. They are installed in direct mechanical contact with the structure. Of all the known types of sensors, piezoelectric vibration measuring transducers or accelerometers are the most widely used in the field under consideration [6]. Piezoelectric properties are possessed by many crystalline substances (quartz, ferrotic salt, tourmaline), as well as artificially created and specially electrified piezoceramics (barium titanate, lead titanate). Accordingly, when a crystal is placed in an electric field, elastic deformation will cause an increase or decrease in its length in accordance with the magnitude and direction of the polarity of the field [7]. When acting on the base of the accelerometer, an inert mass reaction force (compressing or stretching) occurs, which causes deformation of the piezoelectric element and generates a charge in it. This leads to polarization after separation of positive and negative charges (Figure 1).

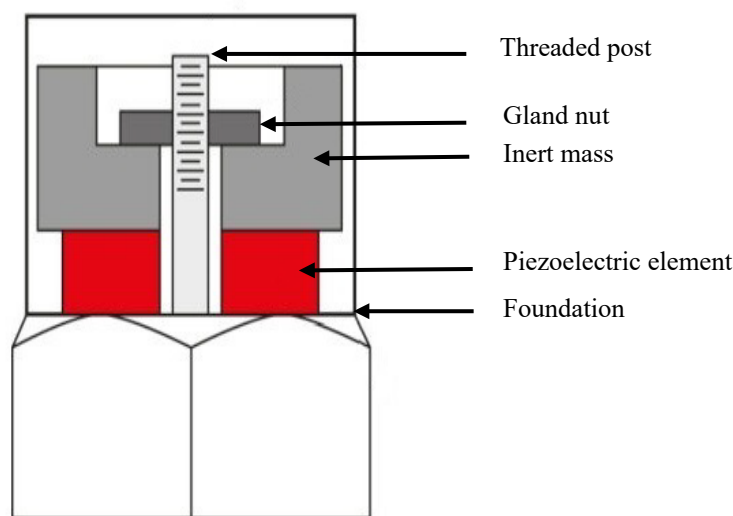


Fig. 1. The structure of the piezoelectric accelerometer

The analysis has shown that the use of piezoelectric vibration measuring transducers (accelerometers) will allow us to estimate the magnitude of the maximum acceleration values arising under the action of inertial loads in the structures of fire truck tanks, depending on different driving modes. Single-component piezoelectric accelerometers of type 352C18 were selected for experimental studies. In accelerometers of the 352 series, piezoelectric ceramics are used as a piezoelectric element [8]. According to the data of the periodic certification of sensors, the error in the conversion factor does not exceed 5 %. The Larson-Davis 2900 noise and vibration analyzer was used to process the data received from accelerometers.

Thus, the aim of the work is an experimental study of the influence of the modes of movement of fire trucks on the inertial loads' level arising in the tank structures. The most common models of tanks with a volume of 5 m³ of fire trucks on the chassis of MAZ-5337, as well as 8 and 10 m³ on the chassis of MAZ-6317 were selected as the object of research.

3. The experimental set up and the study results

The experiment was carried out with a fully filled with water tank, which is required by the specifics of fire trucks work. Accelerometers No. 1, 2, 3 were installed outside the tank structure by taking measurements at an equidistant distance from the welds, stiffeners and other structural elements affecting the rigidity of the tank, as well as schemes and models of

hydraulic loading [9]. For a comparative analysis of the data obtained, accelerometer No. 4 was installed on the tank's bottom outwardly in the area of the location inside the structure of the cross-section of an equal U-shaped cross-section. According to the presented scheme of hydraulic loading of the tank structure, it is necessary to install sensors on its front and side walls at a height of 1/3 from the bottom of the tank (Figure 2).

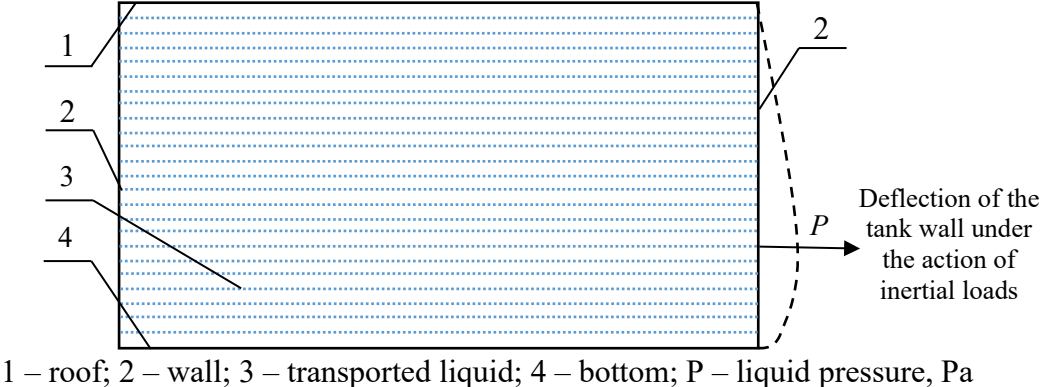
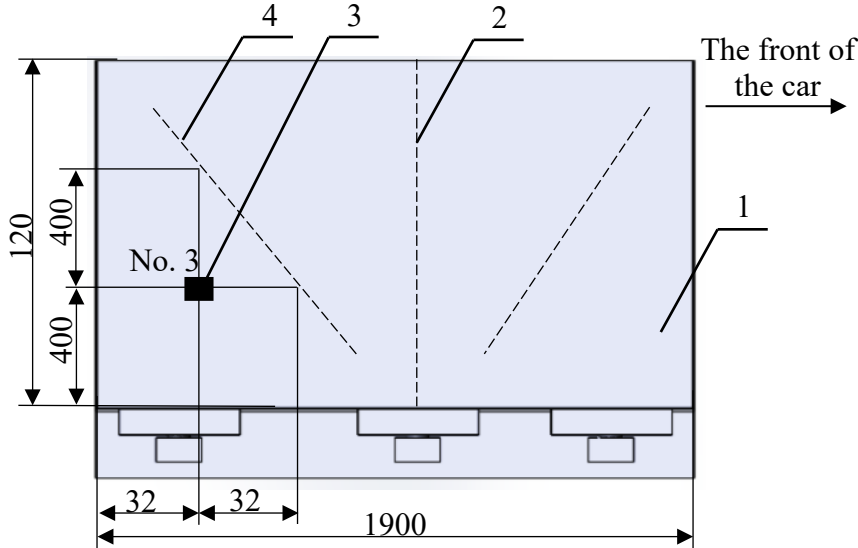


Fig. 2. Diagram of hydraulic loading of the fire truck's tank structure under speed conditions

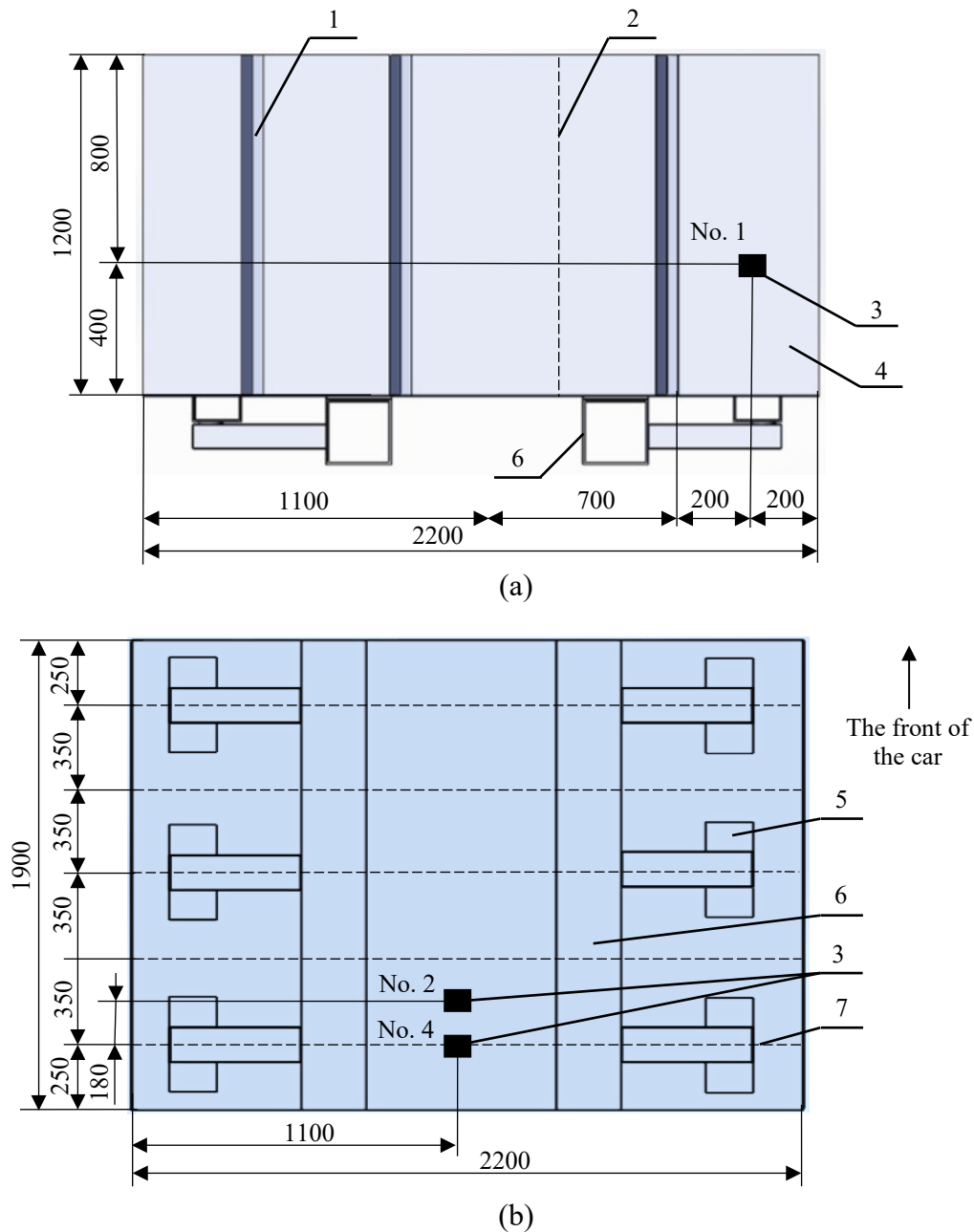
The measuring equipment has been operating at an ambient temperature of 22°C. During the preparation of the Larson-Davis 2900 measuring complex, the zero-acceleration value was set, as well as the variation range of the measured value was found. The tests were reduced to measuring the overall level of acceleration that occurs in the tank structure under various parameters and conditions of fire trucks movement. The following settings were set on the measuring complex: signal averaging – exponential, averaging time 1 second, type of window function of fast Fourier transform – Henning window.

Figures 3 and 4 show the installation locations of four accelerometers on the walls and bottom of the tank structure with a volume of 5 m³ of fire trucks on the MAZ-5337 chassis.



1 – side walls; 2 – T-joint of the breakwater and the side wall;
3 – location of accelerometer No.3; 4 – internal stiffeners

Fig. 3. Layout of accelerometers on the side walls of a 5 m³ fire trucks tank on the MAZ-5337 chassis (all dimensions in mm)



1 – stiffeners; 2 – T-joint of the breakwater and the front wall;
 3 – location of accelerometers No.1, 2 and 4; 4 – front walls; 5 – bracket; 6 – stringer;
 7 – U-shaped cross-section profiles inside the tank

Fig. 4. Layout of accelerometers on the front walls (a) and bottom (b) of a 5 m³ fire trucks tank on the MAZ-5337 chassis (all dimensions in mm)

To conduct the research, the following parameters and conditions characterizing the features of the movement modes of fire trucks to the place of fire occurrence were determined: mode No. 1 – movement along a straight section of an asphalted road at a speed of 50 ± 2 km/h; mode No. 2 – driving on a dirt road of category VI-b with a permissible speed of 20–30 km/h [10]; mode No. 3 – driving on a straight section of paved road at a speed of

50 ± 2 km/h, followed by slowing down the engine to a speed of 10–15 km/h to enter the left turn by 90°; mode No. 4 – acceleration from a standstill on a straight section of paved road to a speed of 30 ± 2 km/h and emergency braking to a complete stop of fire trucks (Figure 5).

Experiments in each mode of movement of fire trucks were carried out with a repetition of 3 times. A total of 12 measurement cycles were carried out. The length of the test sections for mode No. 1 was 850–900 m; for mode No. 2 – 480–500 m; for mode No. 3 – 280–300 m; for mode No. 4 – 100–110 m.



Fig. 5. Investigation of acceleration values arising under the action of inertial loads in the construction of a tank with a volume of 5 m³ of fire trucks on the MAZ-5337 chassis when driving in mode No. 1 (a); mode No. 2 (b); mode No. 3 (c); mode No. 4 (d)

Figure 6 shows an example of the recorded results of the maximum acceleration values, arising under the action of inertial loads in the structure of a 5 m³ fire trucks tank on the MAZ-5337 chassis, which were obtained by accelerometer No. 2 after data processing by the Larson-Davis 2900 measuring complex.

The obtained experimental data were processed in accordance with GOST R 8.736-2011 [11] and [12]. The arithmetic mean of the obtained maximum acceleration values is taken as the measurement result, in which corrections have been previously introduced to exclude systematic errors. The table shows the maximum values of acceleration arising under the action of inertial loads in tank structures with a volume of 5, 8 and 10 m³ under the studied modes of movement of fire trucks on the MAZ-5337 and MAZ-6317 chassis after processing experimental data.

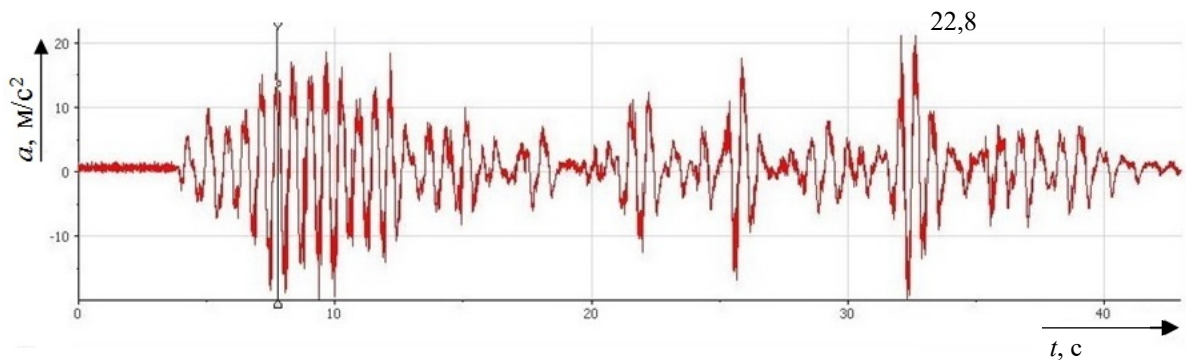


Fig. 6. The dependence of the acceleration values arising on the time of fire trucks movement on a dirt road of category VI-b with an allowable speed of 20–30 km/h, recorded by accelerometer No. 2

Table. Maximum acceleration values a_{max} (m/sec²) recorded in tank structures during fire trucks tests

Motion mode	Tank volume and fire trucks' chassis model		
	5 m ³ chassis MA3-5337	8 m ³ chassis MA3-6317	10 m ³ chassis MA3-6317
Mode No. 1	7,4 ± 0,7	9,2 ± 0,8	10,8 ± 0,9
Mode No. 2	22,3 ± 1,7	24,6 ± 1,8	25,2 ± 1,9
Mode No. 3	17,9 ± 1,4	18,1 ± 1,5	19,4 ± 1,5
Mode No. 4	15,8 ± 1,2	22,7 ± 1,7	22,9 ± 1,8

The results obtained indicate that the magnitude of inertial loads arising in tank structures largely depends on the driving modes of fire trucks. Thus, when fire trucks are moving along a dirt road of category VI-b with an allowable speed of 20–30 km/h, the highest acceleration values were recorded, which amounted to 22.3 m/s² for fire trucks with a volume of 5 m³ on the MAZ-5337 chassis; 24.6 m/sec² for tanks with a volume of 8 m³ on the MAZ-6317 chassis and 25.2 m/sec² for tanks with a volume of 10 m³ on the MAZ-6317 chassis.

4. Conclusions

Experimental studies of the general level of acceleration occurring in tank structures under various modes of fire trucks movement were carried out using the Larson-Davis 2900 measuring complex and piezoelectric accelerometers 352C18. As a result of testing and data processing, dependences were obtained linking the parameters (speed, acceleration, braking, turning) and conditions (type of road surface) characterizing the features of the modes of movement of fire trucks on the chassis of MAZ-5337 and MAZ-6317 with the values of acceleration arising under the action of inertial loads in the structures of tanks with a volume of 5, 8 and 10 m³. The results of experimental studies have shown that the modes and operating conditions of fire trucks determine the high load of tank structures. The obtained results can be used for further strength calculations using finite element modeling software products.

References

1. Vysotskiy M., Pleskachevsky Yu., Shimanovskiy A. Dynamics of truck and rail tanks. Minsk, Belautotractorbuilding Publ., 2006, 320 p.
2. Liguori, A. Study of Tank Containers for Foodstuffs / A. Liguori, A. Formato, A. Pellegrino, F. Villecco // *Machines*, 2021, Vol. 9, pp. 1–21. DOI: 10.3390/machines9020044.
3. Orlov D., Makhov V., Katsan I. Diagnostics of vibrations of vehicle assemblies by the method of wavelet analysis of the boundaries of a focused optical image. *Engineering Bulletin of the Don*, 2014, No. 3, pp. 1–14.
4. Hajdu, F. Examination of chaotic vibrations during operation of a fire truck / F. Hajdu, R. Kuti // *MAC-EITAI*. Prague, 2018, pp. 163–170.
5. Shock and vibration measurements. Characteristics to be specified for seismic pick-ups. GOST R 8042-2002 – Introduced. 01.04.08. – M.: Inter-State Council for Standardization, Metrology and Certification, 2002, 8 p.
6. Kostyukov N., Naumenko A. Fundamentals of vibroacoustic diagnostics and monitoring of machines. Textbook. Omsk. Publishing house of OmSTU, 2011, 360 p.
7. Yanchich V. Piezoelectric sensors of vibration and shock acceleration. Textbook. Rostov-on-Don, 2008, 77 p.
8. Vibration converters of the company GLOBALTEST [Electronic resources]. Available at: <https://globaltest.ru/product/preobrazovatel-vibroskorosti-av02-01-0-8/> (accessed 02 september 2023).
9. Kovtun V., Korotkevich S., Zharanov V. Computer simulation and research of the stress-strain state of fire tank truck structures. *Journal of civil protection*, 2018, Vol. 2, No. 1, pp. 81-90. DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2018.2-1.81>.
10. Roads: Building codes 3.03.04-2019. – Introduced. 26.12.19. – Minsk: Ministry of Construction and Architecture, 2020, 55 p.
11. Multiple direct measurements. Methods of measurement results processing. Main principles. GOST R 8.736-2011. – Introduced. 13.12.11. – M.: Federal Agency for Technical regulation and metrology, 2011, 23 p.
12. Grebennikova V. Methods of mathematical processing of experimental data. Textbook: method. manual. Yekaterinburg. Ural Publishing House, 2015, 124 p.



Equipment and Machines for the Production of Foam Glass Materials and Composite Products

Krasimira TONCHEVA, Lyuben LAKOV, Bojidar JIVOV, Marieta GACHEVA,
Gergana MUTAFCHIEVA, Gabriel PEEV, Dimo MIHAYLOV

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

Abstract

The characteristics of standard and developed innovative machines and equipment based on Bulgarian inventions, protected by patents and applicable to the production of foam glass materials (with a cellular structure), obtained by recycling waste silicate raw materials, were examined. Original design solutions are proposed, allowing more efficient execution of individual technological stages of the production cycle. A technological approach for obtaining a diverse assortment of non-combustible, waterproof and durable composite products prepared with the participation of foam glass granules and inorganic binders is presented. The organization of the production process complies with the requirements for ensuring safe working conditions, compliance with existing environmental norms and prevention of the release of harmful and toxic products into the environment. The main possibilities for potential application of the developed materials for the construction of external thermal insulation systems of buildings (of different types), insulation of the areas around doors and windows and various equipment have been analysed.

Keywords: waste glass, sodium silicate, foam silicate granules

Съоръжения и машини за производство на пеностъкленни материали и композитни изделия

Красимира ТОНЧЕВА, Любен ЛАКОВ, Божидар ЖИВОВ, Мариета ГАЧЕВА,
Гергана МУТАФЧИЕВА, Габриел ПЕЕВ, Димо МИХАЙЛОВ

1. Увод

Голяма част от изградените в миналото масивни сгради (от различен тип) с разнообразно функционално предназначение, подлежат на саниране и реновиране [1]. В това отношение изключително съществен е делът на построените в страната (през втората половина на XX век) многофамилни жилищни сгради от панелен тип, съсредоточени в крупни жилищни комплекси в градовете. Понастоящем се извършва монтаж на топлоизолационни плоскости (XPS, EPS и други), предимно на отделни части от сгради, което има ограничен енергоспестяващ ефект [1] и същевременно оказва неестетичен ефект на фасадите.

Голяма част от широко прилаганите топлоизолационни материали (активно използвани и при строителството на нови сгради) се характеризират с относително ниска устойчивост в условия на пожари [1-4] и ограничен експлоатационен срок. Това съществено понижава сигурността на сградите и обуславя необходимостта от подмяна на топлоизолационните системи след определен експлоатационен период.

Интензивното нарастване на промишленото производство, увеличената активност в сектора на услугите и въздействието на битовите потребители са съпроводени с

увеличаване на количествата разнообразни отпадъчни продукти [5,6]. Като оптимална насока за съвременното развитие на редица отрасли се разглежда приложението на енергоефективни чисти технологии за оползотворяване на отпадъчни материали [5-10], в ролята на изходни суровини за производството на пълноценни изделия. Целесъобразен технологичен и екологичен подход представлява рециклирането на значителни количества отпадъчни стъкловидни материали, поради техните подходящи физикохимични характеристики, дълготрайност и устойчивост в естествена среда [11-16]. В промишлени условия са внедрени производствени методи за оползотворяване на отпадъчни стъкловидни суровини за производство на пеностъклени материали [11], които намират приложение под формата на разнообразни продукти: гранули, чакъл, плоскости за топлоизолация на сгради, профили за термична изолация на оборудване и други. Употребата на топлоизолационни пеностъклени материали при строежа на нови и реновиране на съществуващи сгради отстранява необходимост за подмяна на топлоизолационната система в рамките на целия експлоатационен цикъл на обекта [11].

Същевременно са разработени иновативни композитни материали с участието на гранулирано пеностъкло и неорганични свързващи вещества [17-21]. Изготвените композити представляват потенциална конкурентна алтернатива [17-19] на редица традиционни и стандартни топлоизолационни продукти за строителството. За по-нататъшното модифициране на материала са разгледани редица аспекти на получените лабораторни данни от различни тематични насоки [22-29]. Перспективна възможност за допълнително функционално развитие на композита [20] е разработването на продукти с по-специализирано предназначение, като пожароустойчиви изолационни елементи и други.

Цел на настоящата работа представлява определянето на необходимия основен машинен парк, приложим за рециклиране на отпадъчни стъклени суровини и производството на гранулирано пеностъкло и силикатни композитни продукти в условията на конкретно промишлено предприятие (бенефициент). Извършената дейност е съобразена с планираните етапи на утвърдено проектно предложение (на конкурсен принцип), предвиждащо подбор на адекватно оборудване, разработване на иновативни съоръжения, рецептурни състави и рентабилен технологичен режим за производство на асортимент от негорими дълготрайни изделия, удовлетворяващи съвременните изисквания за енергоефективно строителство и пожарна безопасност.

2. Съоръжения и технологични етапи

Разгледаният машинен парк от стандартни и иновативни съоръжения осигурява необходимото допълнително оборудване на предприятието за разширяване на неговите технологични възможности за самостоятелно рециклиране на отпадъчно стъкло и рентабилно производство на различни фракции пеносиликатни гранули и асортимент композитни изделия, приложими в строителството. Представеният комплекс от високопроизводително оборудване позволява изграждането на технологична линия със специализирани клонове за пълноценно провеждане на отделните етапи на технологичния процес. Допълнителни производствени възможности и по-висока ефективност осигуряват съоръженията проектирани на базата на иновативни конструктивни решения, които повишават някои неудовлетворителни технико-експлоатационни характеристики на предходни поколения машини. Осъществяването на планираната производствена дейност в промишлени условия предвижда активната експлоатация на съществуващата заводска инфраструктура и складово-логистична база, както и обособяване на допълнителен специализиран участък. Характеристиките на съоръженията и организацията на производствения процес са съобразени с

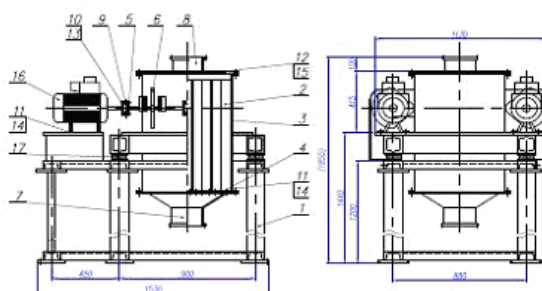
изискванията за осигуряване на безопасни условия на труд, спазване на действащите в страната екологични норми и предотвратяване на освобождаването на вредни емисии и токсични продукти в околната среда при провеждане на технологичните етапи. Обработката, транспортът и съхраняването на подложената на смилане до прахообразно състояние стъкловидна суровина се осъществява в затворени съоръжения при наличие на аспирационни системи за ефективно обезпрашаване в работните помещения. Същевременно в производствения процес се предвижда употребата на модифициран първичен суров гранулат с по-ниски прахови емисии.

А. Създаване и изпробване на машини и съоръжения за подготовка на суровината за производство – различен вид трошачки, мелници, хомогенизатори, гранулатори.

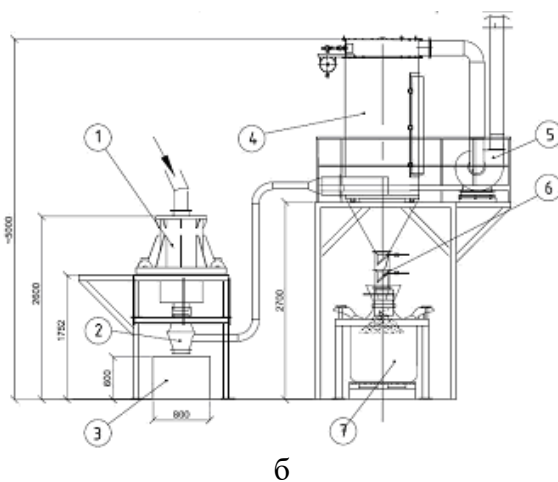
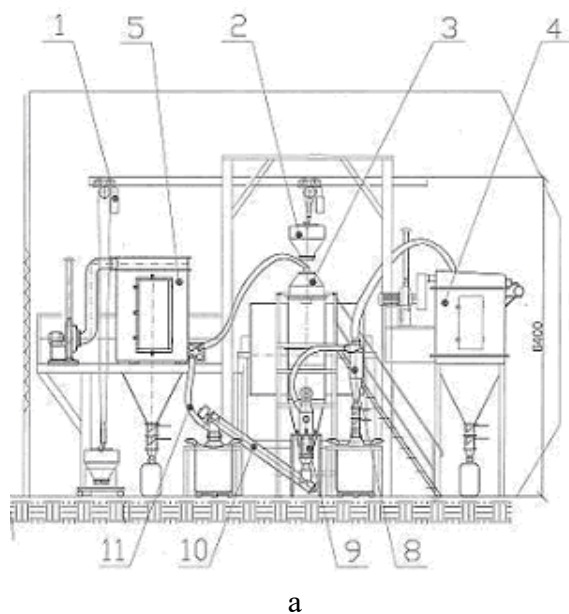
Процесът на деструктуриране на изходната суровина е много важен за получаване на качествен продукт.



Фиг. 1. Топкова мелница за 1 тон суровина



Фиг 2. Иновативна вибрационна мелница с производителност 250 кг / час-



Фиг. 3. Мелничен комплекс за: а) топкова мелница: б) вибрационна мелница

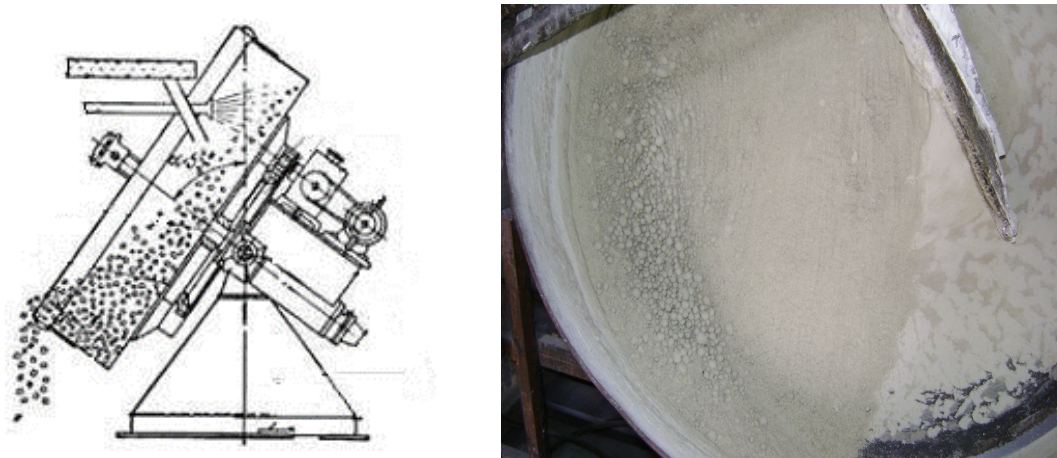
Стъклените отпадъци от различен тип се натрошават с трошачки на късчета от около 5 – 10 мм и след това се смилат на прах в подходяща мелница различен вид –

топкова – фиг.1, вибрационна фиг.2 или друга. Най-важно е мелещите тела и стените на мелниците да са изолирани с неметални твърди материали като корунд, кремък и други. Мелниците са само елемент от мелничния комплекс фиг.3, осигуряващ смилането до определена едрина на материала – в случая до частици с размери до 63 микрона – или до разгъната площ 5500 – 6000 м²/g.

След смилането се извършва хомогенизиране на суровината с пенителя или в последния етап на меленето или в отделна мелница – хомогенизатор. От различните видове пенители е подбрана комбинация от глицерин и водно стъкло в определено съотношение.

Поради замърсяване на движещите части на съоръженията и от дълги експерименти се стигна до извода да се получават пеностъклени материали не от подготвения прах, а от сурови гранули, получавани в гранулатор, изсушавани в подходяща сушилня и след това разпенвани – за плоскост или самостоятелно използвани гранули за композитен материал или за леки бетони. Течния пенител – глицерин и водно стъкло се използва и като свързващо вещество при гранулиране.

Гранулаторът е показан на Фиг.4.



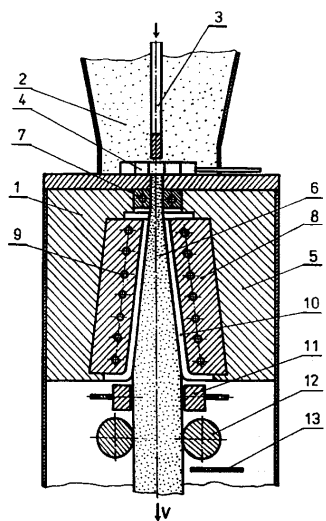
Фиг. 4. Гранулатор – с въртяща се тава за агломериране (свързване на стъклените частици и пенителя.)

Б. Развитие на конструктивната идея за създаване на машини и съоръжения за производство на пеностъкло, защитени с български патенти – предимно хоризонтални и вертикални пещни агрегати.

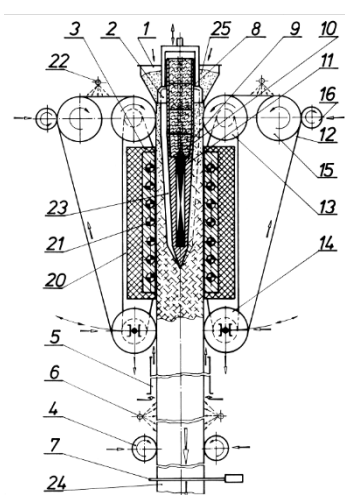
Б.1.Получаване на масивно пеностъкло във форма на плоскости от непрекъсната лента, получена по вертикален български метод.

Получаването на пеностъкло става в пещи при нагряване до 700 – 850°C в зависимост от вида на отпадъчното стъкло. Класическия начин за получаване става в хоризонтални пещи тунелен тип. Техния недостатък е големия разход на енергия. Резултатът е скъпо пеностъкло.

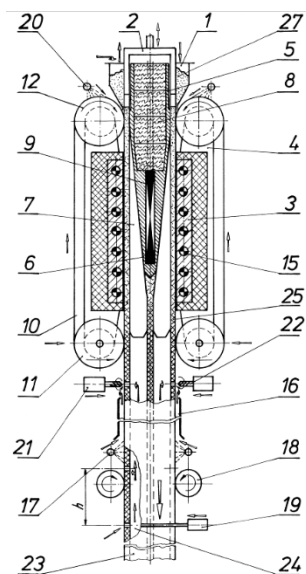
Български учени още 70-те години на 20-ти век създават вертикален метод за получаване на пеностъкло във вертикални шахтови пещи.



Фиг. 5. Изобретение на проф Велев № 51611



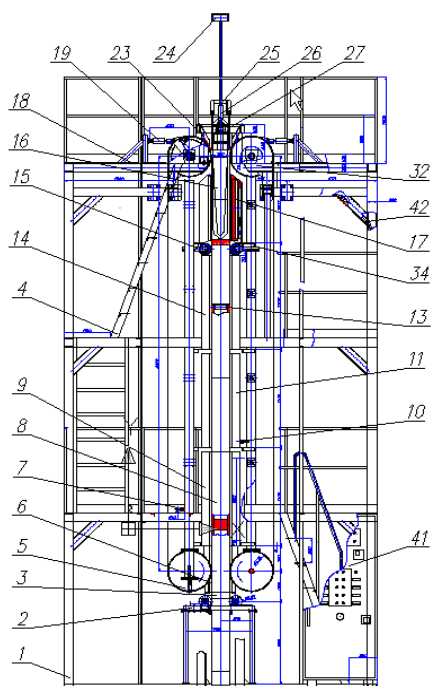
Фиг. 6. Изобретение на авторския колектив № 65718



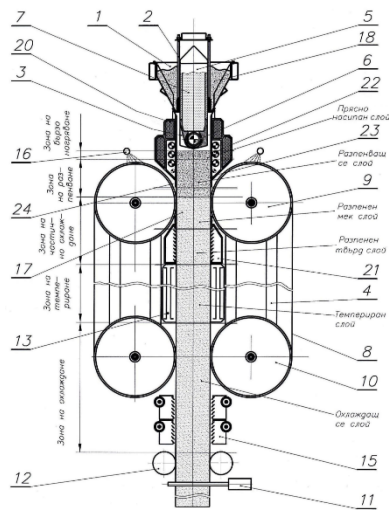
Фиг. 7. Изобретение на авторския колектив № 65745

Колектив от Институт по металознание, секция Неметални материали разработва усъвършенствайки първоначалната идея за вертикално получаване на пеностъклена непрекъсната лента с дебелина до 200 мм – фиг.5, 6 и 7. Въз основа на изобретенията е създаден реален опитен образец на печта – фиг.8

Въз основа на тези изобретения е направен проект, реализиран 2013 г., като е осъществено експериментално производство на пеностъклена лента.



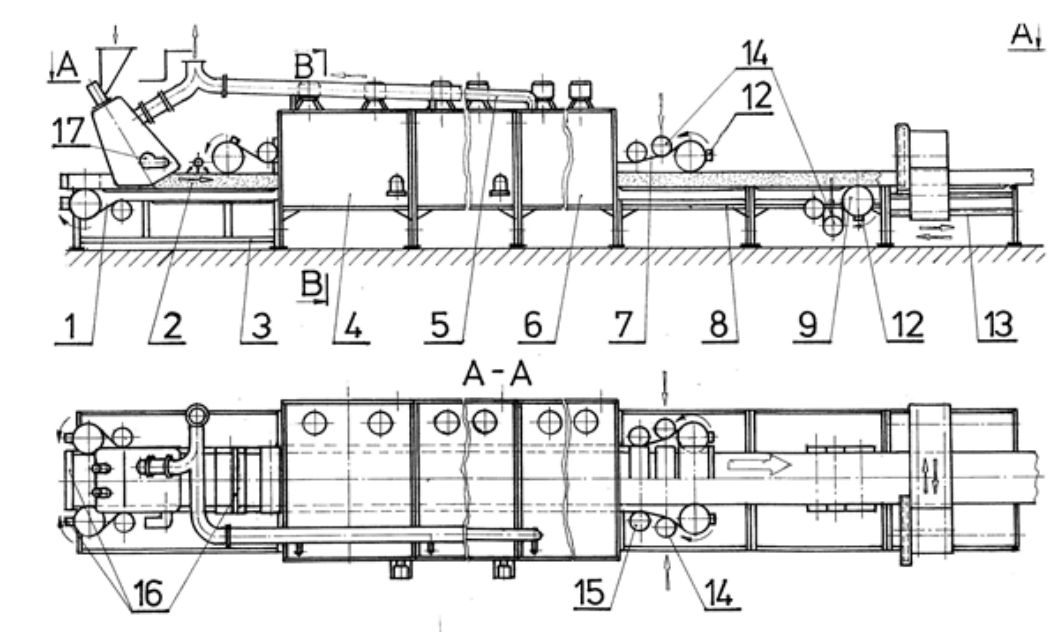
Фиг. 8. Реално изработена и експериментирана вертикална печ за пеностъклените непрекъснати ленти



Фиг. 9. Ново техническо решение защитено с патент № 66903 по вертикалния метод за получаване на пеностъклена лента.

В резултат от опита, натрупан по време на експериментите е създадено и ново конструктивно решение фиг 9. с избегнати някои недостатъци на предишните решения – предимно скъсяване на разпенващата глава.

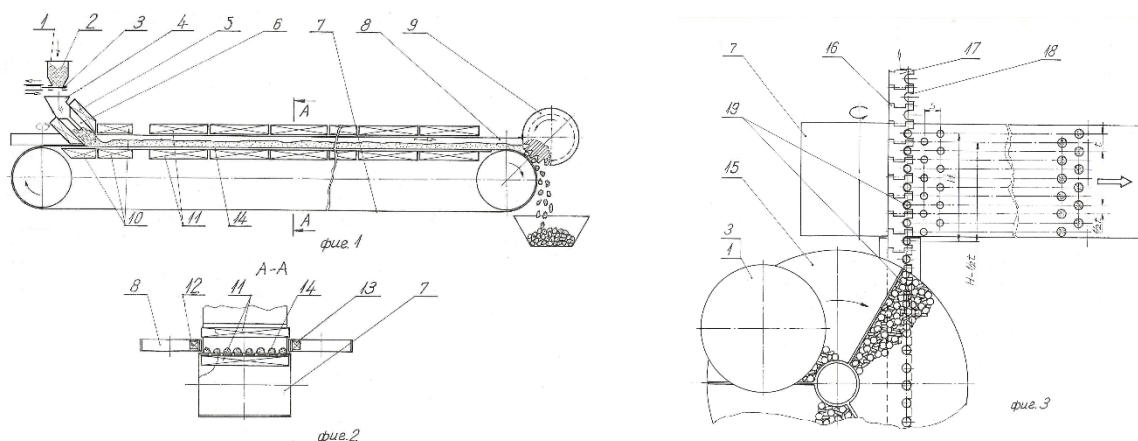
Като комбинация от вертикалния и хоризонталния метод на изпълнение конструкцията на печта е създадено най-новото конструктивно решение, признато на 07.07.2023 г. с изобретение № 67554, където разпенването се осъществява в наклонена разпенваща глава, а другите технологични процеси се осъществяват в хоризонталната част на уредбата – фиг.10.



Фиг. 10. Техническо решение на печ, работеща по комбиниран метод за получаване на пеностъклена лента с наклонена разпенваща глава поз. 17 – изобретение, защитено с патент № 67554.

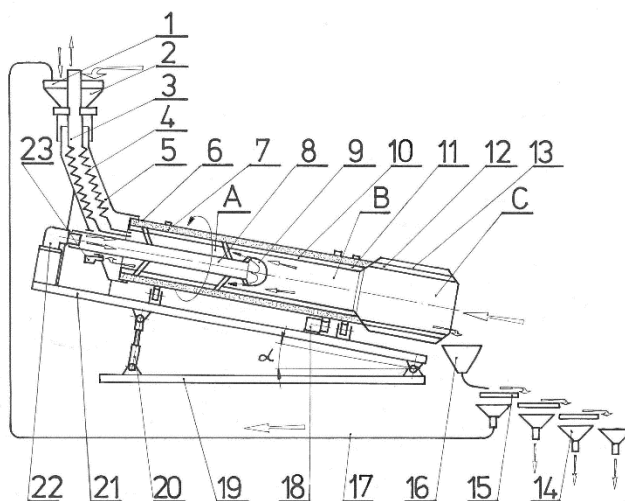
Б.2. Получаване на пеностъкло във форма на гранули за получаване на композитни изделия – плоскости, полутръби, „П“ образни изделия за преминаване на тръбна и проводникова сградна комуникация, масивни блокове за нарязване на плоскости за изолация или неносещи стени и гранули за изработване на леки бетони.

Освен пеностъкленни плочи са изобретени конструктивни решения за производство на пеностъкленни гранули, чрез които се създават различни по форма и размери строителни елементи от композитен материал – смес от пеностъкленни гранули и циментова свързваща субстанция, плътно опаковаща разпенените гранули, за което също е създадено решение, защитено с патент № 66666. Новите конструкции са представени на фиг. 11.



Фиг 11. Изобретение за получаване на гранули и късове пеностъкло № 66666

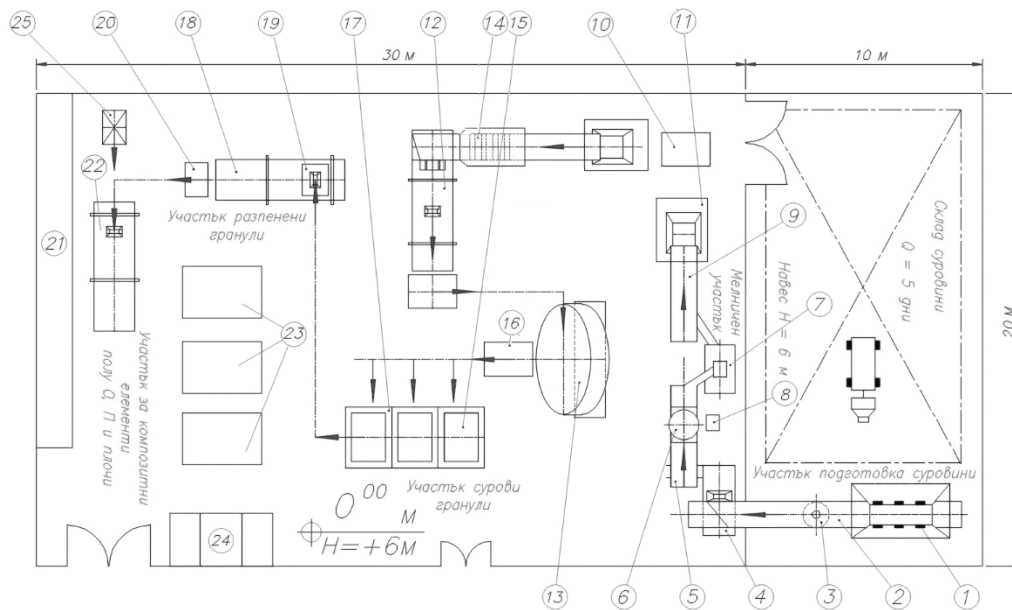
Получените от предходния технологичен етап отделни фракции гранулирано пеностъкло представляват основен компонент за производство на асортимент композитни продукти на базата на хидравлични свързващи вещества (портландцимент, зеолит и други).



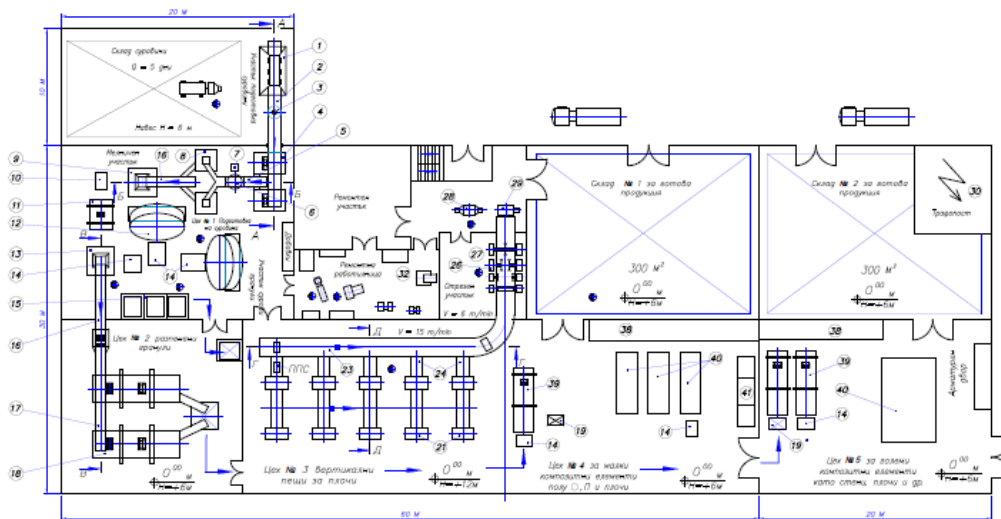
Фиг. 12. Комбинация от вертикален и хоризонтален метод за получаване на разпенени гранули – патент № 67553

За изготвяне на разработените различни категории продукти се предвижда въвеждането към първичните рецептурни състави на зеолит и допълнителни компоненти с армираща роля (неорганични фибри) или топлоизолационни

характеристики (леки порести насипни материали, фракции до няколко mm). Подготовката на изходните състави, формоването на полуфабрикатите и окончателната обработка на крайните изделия се осъществява в обособен самостоятелен технологичен участък, оборудван със специализиран набор кофражни иновативни матрици. Отделните етапи на технологичния процес при производството на композитните продукти са разгледани подробно в предходни публикации [17, 18] и не представляват предмет на настоящата работа.



а



б

Фиг.13. Технологични линии за производство на пеностъклени материали:
а) опитен цех; б) редовен цех за производство

Създадена е опитна технологична линия и цех за редовна експлоатация (фиг 13) за производство на масивни плоскости и гранули от пеностъкло и строителни изделия от композитен материал [30, 31].

Специфичните експлоатационни характеристики на преобладаващите компоненти в композитния материал (пеносиликатни агрегати с клетъчна структура и циментова фаза), позволява изготвянето на незапалими, дълготрайни, водоустойчиви топло- и звукоизолационни плоскости, профили и специални изолационни елементи (за монтаж около врати и прозорци), отговарящи на строително-техническите правила и норми за осигуряване на безопасност при пожар.

3. Изводи

Представени са основните иновативни съоръжения, създадени по български патенти с показано развитие на иновативната идея, необходими за основно оборудване на промишлено предприятие и разширяване на неговите технологични възможности за самостоятелно рециклиране на отпадъчни стъкловидни суровини, производство на гранулирано пеностъкло и асортимент от композитни плоскости, профили и специализирани изолационни елементи, приложими в съвременното строителство.

Техническите характеристики на съоръжения и организирането на производствения процес са съобразени с изискванията за осигуряване на безопасни условия на труд и спазване на съществуващите екологични норми в страната. Предвидени са контролирана и безопасна обработката, транспорт и съхранение на прахообразните фракции на получените суровини и полуфабрикати в хода на целия производствен процес.

По-висока ефективност осигурява прилагането на разработените иновативни съоръжения с повишена производителност, спрямо предходни поколения оборудване.

Проектирана е технологична линия (със специализирани клонове), съвместима с общия производствен потенциал на бенефициента и капацитета на неговата логистична база. Спецификата на технологичния процес позволява частично интегриране на необходимото оборудване в съществуващата заводска инфраструктура, но същевременно изисква допълнително изграждане на обособен специализиран производствен участък.

Благодарности

Авторите изказват своята благодарност на Националния иновационен фонд и Изпълнителната агенция за насърчаване на малките и средните предприятия към Министерството на икономиката на Република България за финансиране на научно-приложен проект / договор № 13 ИФ-02-21/12.12.2022 г. между възложител ИАНМСП и изпълнители – бенефициент „МАГ“ ООД с партньор ИМСТЦХА-БАН „Акад. А. Балеvски“.

Литература

1. Savov R., D. Nazarski, “Energy Efficiency, Thermal insulation systems of buildings, Publishing house”, “ABC Technic”, Sofia, 2006.
2. Jelle B. P., “Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities”, Energy and Buildings, Vol. 43, Issue 10, 2011, pp. 2549-2563.
3. Aditya L., T. M. I. Mahlia, B. Rismanchi, H. M. Ng, M. H. Hasan, H. S. C. Metselaar, Oki Muraza, H. B. Aditya, “A review on insulation materials for energy conservation in buildings”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 73, 2017, pp. 1352-1365.

4. Hill C., A. Norton, J. Dibdiakova, "A comparison of the environmental impacts of different categories of insulation materials", *Energy and Buildings*, Vol. 162, 2018, pp. 12-20.
5. Demirbas A., "Waste management, waste resource facilities and waste conversion processes", *Energy Conversion & Management*, 52(2), 2011, pp. 1280-1287.
6. Amasuomo E., J. Baird, "The Concept of Waste and Waste Management", *Journal of Management and Sustainability*; Vol. 6, No. 4; 2016, pp. 88-96.
7. Velenturf A. P. M., P. Purnell, "Resource Recovery from Waste: Restoring the Balance between Resource Scarcity and Waste Overload", *Sustainability*, 2017, 9, 1603, pp. 1-17.
8. Degli Antoni G., G. Vittucci Marzetti, "Recycling and waste generation: an estimate of the source reduction effect of recycling programs", *Ecol. Econ.*, 161, 2019, pp. 321–329.
9. Trinca A., V. Segneri, T. Mpouras, N. Libardi, G. Vilardi, "Recovery of Solid Waste in Industrial and Environmental Processes", *Energies*, 2022, 15, 7418, pp. 1-5.
10. Medici F., "Recovery of Waste Materials: Technological Research and Industrial Scale-Up", *Materials*, 2022, 15, 685, pp. 1-3
11. Toncheva K., "Creation and research of a blowing section of a system for obtaining a continuous strip of foam glass", PhD Dissertation, Sofia, 2014, p. 168.
12. Chorbov I., K. Toncheva, L. Lakov, "Device for obtaining foam glass granules", Patent № 66666/06.06.2012. Status-Valid, Place of application Bulgaria.
13. Lakov L., K. Toncheva, A. Staneva, T. Simeonova, Z. Ilcheva, "Composition, synthesis and properties of insulation foam glass obtained from packing glass waste", *Journal University of Chemical Technology and Metallurgy* 48, 2, 2013, pp. 125–129.
14. Lakov L., K. Toncheva, "Device for obtaining foam glass", Patent № 66903 B1, 2019, Status – Valid, Place of application Bulgaria.
15. Chorbov I., L. Lakov, K. Toncheva, L. Drenchev, N. Guo, H. Shi, "Device for obtaining foamed granules from composite material", Patent application № BG /P/2020/113247 dated 21.10.2020, Status – in examination, Place of application Bulgaria.
16. Chorbov I., L. Lakov, K. Toncheva, L. Drenchev, N. Guo, H. Shi, "Device for obtaining a continuous plane of foamed composite material", Patent application № BG/P/2020/113248 dated 21.10.2020, Status – in examination, Place of application Bulgaria.
17. Lakov L., B. Jivov, M. Aleksandrova, Y. Ivanova, K. Toncheva, "An innovative composite material based on sintered glass foam granules", *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 53, 6, 2018, pp. 1081-1086.
18. Lakov L., B. Jivov, Y. Ivanova, S. Yordanov, M. Marinov, S. Rafailov, "Composite Materials Obtained from Foamed Silicate Products", *International Journal "NDT Days"*, Volume II, Issue 2, Year 2019, pp. 188-194.
19. Lakov L., L. Drenchev, D. Nazarski, "Composite thermal insulation material", Patent № 66960 B1, 2019, Status-valid, Place of application Bulgaria.
20. Lakov L., B. Jivov, Y. Ivanova, S. Yordanov, K. Toncheva, "Alternative possibilities for application of foamed silicate materials", *International Scientific Journal "Machines. Technologies. Materials"* Issue 1/2021, pp. 25-27.
21. Lakov L., B. Jivov, M. Aleksandrova, S. Yordanov, K. Toncheva, "Heat-insulating lightweight concretes and composite materials on the basis of inorganic binders with application in construction", *International Scientific Journal INDUSTRY 4.0*, Year VIII, Issue 2, 2023, pp. 47-51.
22. Brahmane N. S., S. S. Bachhav, "Implementation of value engineering in construction project to reduce time of the project", *International Research Journal of Engineering and Technology*, 7(8), 2020, pp. 1301– 1303.
23. 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.
24. Aleksandrova M. M., V. Petkov, V. P. Korzhov, I. S. Zheltyakova, "Study the influence of immersion in the synthesis of thin layers on a composite substrate", *International scientific journal INDUSTRY 4.0*, VII, 6, Scientific technical union of mechanical engineering "INDUSTRY 4.0", Bulgaria, 2022, pp. 226-228.

25. Petkov V., M. Aleksandrova, R. Valov, V. Korzhov, V. Kiiko, T. Stroganova, “Studying the surface and microstructure of a chromium coating with nanodiamond particles deposited on monolithic composite with layered structure”, *International Scientific Journal “Machines. Technologies. Materials”*, Year XVII, Issue 2, 2023, pp. 67-69.
26. Albarbary M. M., A. M. Tahwia, I. Elmasoudi, “Integration between sustainability and value engineering in the production of eco-friendly concrete”, *Sustainability*, 15 (4), 2023, Article 3565.
27. Atabay Ş., “Determination of exterior material in sustainable buildings by value engineering method according to LEED criteria”, *J. Sustain Const. Mater. Technol.*, Vol. 8, Issue. 1, 2023, pp. 1–11.
28. Kalkan Ş. O., L. Gündüz, “Use of pumice aggregate in cementitious rheoplastic lightweight concrete”, *J. Sustain. Const. Mater. Technol.*, Vol. 8, Issue. 1, 2023, pp. 57–65.
29. Abadassi M., Y. El Bitouri, N. Azéma, Eric Garcia-Diaz, “Effect of Excessive Bleeding on the Properties of Cement Mortar”, *Constr. Mater.*, 3, 2023, pp. 164–179.
30. Toncheva, K., Lakov, L., Jivov, B., “Experimental Industrial Unit for Testing of Production Technology for Foam Glass Granules and Elements from Composite Material on this Basis”. *International Journal “NDT Days”*, Volume IV, Issue 4, 2021, ISSN: 2603-4018 eISSN: 2603-4646, 276-285.
31. Lakov, L., Toncheva, K., Jivov, B., Gacheva, M., “Technical Project for Creating a Business Plan for the Construction of a Technological Line and a Plant for the Production of Yellow Pavers”. *International Journal “NDT Days”*, Volume V, Issue 1, Year 2022, 2022, ISSN: 2603-4018, eISSN: 2603-4646, 7-15.



Investigation of the Effect of Non-Stick Coatings Based on Corundum, Zircon and Graphite on the Formation of the Surface of Complex Relief Castings in Combination with the “Capillary Molding” Method

Daniela SPASOVA

Technical University of Varna, Varna, Bulgaria,
e-mail: danielats@tu-varna.bg

Abstract

The present paper is related to investigating the possibility of obtaining complex-relief castings by wax models combined with the “Capillary molding” method and use of coatings guaranteeing low surface roughness. Using the “Capillary Molding” method, it has been found that a very good bond is achieved between the coatings used and the mold support over the entire surface. Coatings based on corundum, zircon and graphite and binder water glass and carbophen resin were used. The influence of the coatings used on the formation of the surface of complex relief castings is significant because coated surfaces are obtained with low roughness ($Ra = 1.2 \div 1.5$), corresponding to the coating roughness. Also, there are no gas defects in the volume of the casting, which indicates that the gases formed as a result of the interaction of the melt and the non-stick coating are insignificant and do not get into the volume of the casting, but seep into the pores of the casting mold as a result of its vacuuming.

Keywords: vacuum casting, surface roughness, the non-stick coating, capillary molding

Изследване влиянието на противопригарни обмазки на основата на корунд, циркон и графит върху формирането на повърхността на сложнорелефни отливки в съчетание с метода „Капилярно формоване“

Даниела СПАСОВА

1. Увод

Качеството и свойствата на отливките до голяма степен се определят и от качеството на повърхнината на отливката. По-доброто качество на повърхността на отливката повишава точността на отливките, намалява трудоемкостта на операциите по почистване, подобрява обработваемостта и намалява допуските за обработка [1, 2]. Качеството на повърхността на отливката се оценява с определяне на нейната грапавост, която зависи от наличие на повърхностни дефекти под формата на пригар [3].

Пригарът е слой от формовъчна или сърцева смес, образуван от взаимодействието на стопилката с кислорода в атмосферата. Той е здраво закрепен върху повърхността на отливката, което рязко влошава качеството на повърхнината ѝ. Различават се три вида пригар – механичен, химичен и термичен. За да се предотврати образуването на пригар на повърхността на отливката, върху стените на леярската форма се нанасят обмазки, които предотвратяват взаимодействието на стопилката с леярската форма [2, 4].

Друг важен момент за подобряване качество отливката е да се предотврати отделянето на газове, както на повърхността, така и в обема на отливката, което може да се осъществи чрез вакуумиране на леярската форма в момента на заливане. Леенето

с вакуумиране на леярската форма е една от съвременните технологии за производство на прецизни отливки, с малка дебелина на сечението и такива, които изискват високо качество на стопилката, освободена от всякакви неметални включвания и газове [5, 6]. Същността на процеса се състои в това, че сплавта запълва кухината на леярската форма под действие на разликата в атмосферното налягане и налягането, създадено в кухината на формата, чрез вакуумирането ѝ. С изменението на разликата между атмосферното налягане и налягането създадено в леярската форма може да се регулира скоростта на запълване на формата със стопилката. Чрез леене в условия на вакуум се получават тънкостенни отливки, с дебелина на стените 1-1.5 mm, без наличие на газови дефекти, с висока точност на размерите и повишени механичните свойства [5].

В настоящата работа са отразени резултатите от изследване на възможността за получаване на сложно-релефни отливки по стопяеми модели в условия на леене във вакуум, в съчетание с метода „Капилярно формование“ и използване на обмазки гарантиращи ниска грапавост на повърхнините. „Капилярно формование“ е сравнително нов метод за изработване на леярски форми, защитен с патент [7]. При конвенционалните методи за изработване на сложнорелефни отливки по стопяеми модели се използват етилсиликатни черупкови форми, или леярски форми, изработени от течнаоливни формовъчни смеси, които са с ниска газопропускливост, и за които се изисква изпичане на формата при високи температури преди да бъде залята. В настоящите изследвания е избран метода „Капилярно формование“, описан в т. 2, т.к. удовлетворява следните изисквания: 1) при формование на опорната част на формата, която трябва да бъде пореста, с висока газопропускливост, не трябва да се нарушава целостта, на обмазката, т. к. използваните обмазки в сурово състояние имат ниска технологична якост; 2) необходимо е да се осъществи много добра връзка между обмазката и опорната пориста форма; 3) за да не се наруши целостта на обмазката е необходима ниската температура на нагриване на формата (150-200°C).

При създаденият метод за капилярно формование се осъществява много добра връзка между използваните обмазки и опорната част на формата, т.к. в обмазките на основата на корунд, циркон и графит, като свързващо вещество са използвани карбофенова смола и водно стъкло, както и при изработването на опорната част на леярските форми. Предвид на приложимостта на такъв вариант на изработване на леярски форми, експериментите бяха насочени към използване на медна сплав CuZn38Pb2 за получаване на сложнорелефни отливки.

2. Експериментална част

2.1 Приготвяне на противоположните обмазки

Както беше споменато в т. 1, използвани са обмазки на основата на корунд, циркон и графит, чийто състав е даден в табл. 1.

Таблица 1. Състав използваните противоположни обмазки

Обмазка	Основна съставна	Допълни материали
1	корунд	Карбофенова смола ALKAFEN C 150- 4%, вода (1:3)
2	корунд	Водно стъкло- 4%, вода (1:3)
3	циркон	Карбофенова смола ALKAFEN C 150- 4%, вода (1:3)
4	циркон	Водно стъкло- 4%, вода (1:3)
5	графит	Карбофенова смола ALKAFEN C 150- 4%, вода (1:3)
6	графит	Водно стъкло- 4%, вода (1:3)

Предвид обстоятелството, че обмазките се нанасят върху стопяемия модел (изработен от восъчно-парафинена смес), а не върху повърхнината на леярската форма, избора на свързващи вещества за обмазките беше определен от обстоятелството, че трябва да бъдат същите, каквито са свързващите вещества на опорната част на леярската форма, за да се изгради здрава връзка между обмазката и леярската форма. Всеки един вид обмазка се използва в два варианта – със свързващо вещество карбофенова смола и със свързващо вещество водно стъкло. Едрината на частиците на основния пълнител е с размери 2-10 μm , а свързващото вещество не трябва да се разрежда с вода повече от 1:4.

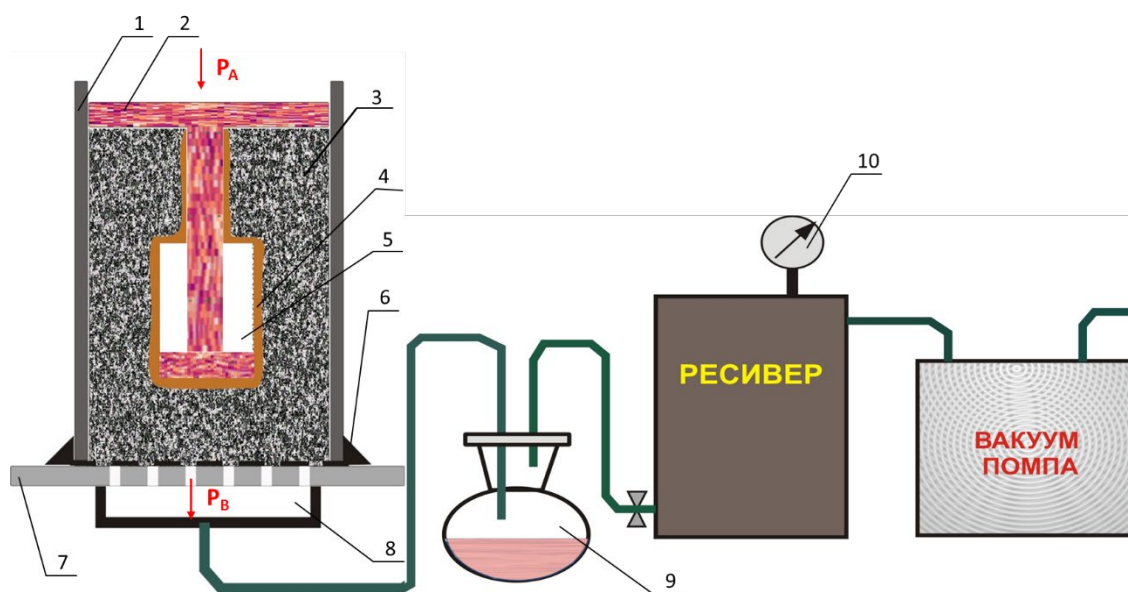
2.2 Изработване на леярската форма

Първоначално, с цел уточняване на параметрите на работния режим, моделите се изработваха с опростена форма, във вид на плоска призма с дебелина 3 mm, от восъчно-парафинена смес. На по-късен етап експериментите се продължиха с използване на сложнорелефни модели. Изработения восъчен комплект (модел и леякова система) се обмазват с избраната за целта обмазка.

Основната идея на настоящите експерименти е да се изработи леярска форма, която да е пориста и в съчетание с обмазките да осигури получаването на качествена отливка, като леярската форма да бъде нагрята до температура не повече от 150-200°C. Тази температура е достатъчна за освобождаване на леярската форма от стопяемия модел, за разлика от конвенционалните методи, където е необходима висока температура на изпичане на формата, респективно обмазката. Тези температури за гипсовите форми са 750°C, за керамичните на базата на етилсиликат са над 900°C. Както беше споменато по-горе, тези условия се удовлетворяват с използване на метода „Капилярно формование“. Характерното за метода е, че приготвянето на формовъчната смес се осъществява в самата леярска каса и формирането на необходимия слой свързващо вещество около пясъчните зърна, т.е. получаването на формовъчната смес, се осъществява без прилагане на механично въздействие върху компонентите ѝ. Методиката за изработване на леярски форми по този метод е визуализирана на фиг. 1.

Изработването на леярската форма се осъществява в следната последователност: върху филтърната мрежа 8 се позиционира стопяемият модел с предварително нанесена обмазка. Пространството между модела 5 и касата 1 се запълва със сух пясък 2 (Дп.з. = 0.20 mm), който се доуплътнява, чрез леки вибрации. Върху пясъка се налива свързващото вещество (карбофенова смола или водно стъкло разредени с вода, в съотношение 1:2). След което се включва вакуум системата и в резултат на разликата в налягането над свързващото вещество и под него, то принудително прониква в капилярните пространства между пясъчните зърна, като ги омокря по цялата им повърхност. Вакуум системата продължава да работи, докато почти цялото количество свързващо вещество попадне в междинния съд 10. В леярската форма остава само тази част от свързващото вещество, която е омокрила пясъчинките в леярската форма. Така получената леярска форма, изградена от пясък, омокрен със свързващото вещество карбофенова смола или водно стъкло се втвърдява чрез продухване с CO₂. Това е и едно от предимствата на тези свързващи вещества, че се втвърдяват без изпичане при високи температури. Трябва да се отбележи, че при продухване с въглероден двуокис от горната страна на формата, вакуумсистемата продължава да работи. По този начин се интензифицира проникването на въглеродния двуокис в пространството между пясъчните зърна. Освобождаването на леярската формата от стопяемия модел се осъществява при температури 150°C, в продължение на 1 час. Това е температурата,

над която свързващото вещество карбофенова смола губи своята свързваща способност и обмзката започва да се рони, а при използване на свързващо вещество водно стъкло над тази температура, обмзката се напуква.

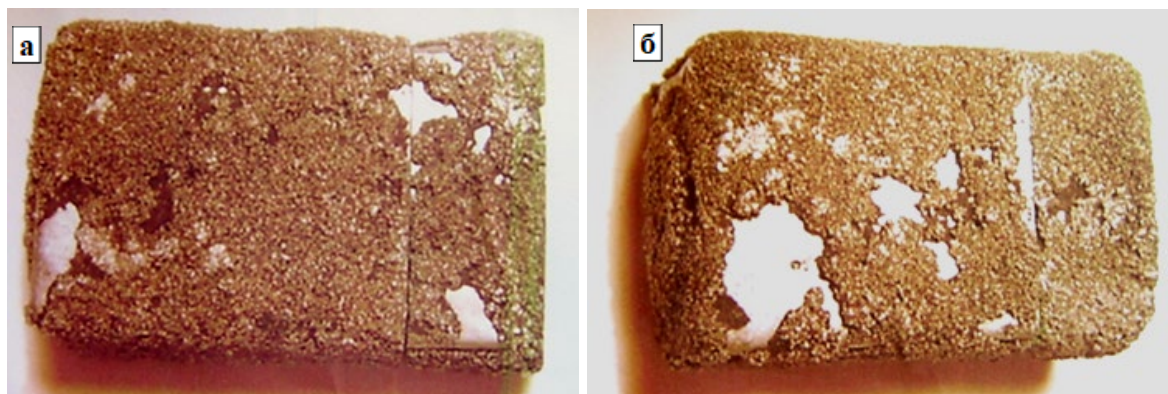


Фигура 1. Лабораторна уредба за заливане в условия на вакуум; 1 - леярска каса, 2 - стопилка, 3 - формовъчна смес, 4 - обмзка, 5 - кухня на леярската форма, 6 - уплътнение, 7 - подмоделна плоча, 8 - предпазна камера, 9 - междинен съд, 10 - вакууметър

3. Резултати и анализи

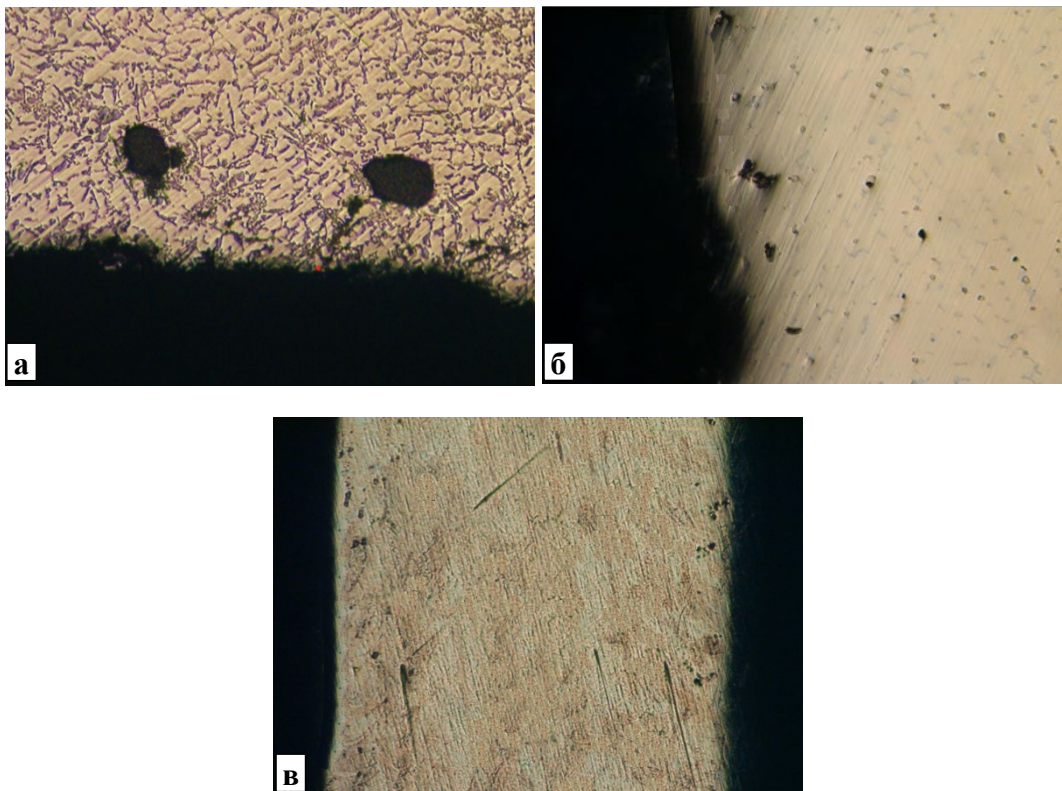
3.1. Резултати и анализи от проведения структурен анализ на изследваните образци

Както беше казано по-горе, първоначално, с цел уточняване на параметрите на работния режим, моделите се изработваха с опростена форма, във вид на плоска призма. От фиг. 2 се вижда, че обмзката е взаимодействала с леярската форма, но образуваият се слой се отстранява лесно и под него получените отливки са с видимо ниска грапавост.



Фиг. 3. Пробни отливки: а - с противопригарна обмзка от корунд и свързващо вещество водно стъкло; б - с противопригарна обмзка от циркон и свързващо вещество карбофенова смола

Експериментите, проведени в леярски форми със свързващо вещество карбофенова смола, съответно и с обмазки със свързващо вещество карбофенова смола, не дадоха особено добри резултати. Видимо повърхността се получи с ниска грапавост, но при проведения микроструктурен анализ се наблюдаваха газови дефекти в близост до повърхностния слой, и при трите вида обмазки (фиг. 3), въпреки че заливането на леярската форма се осъществи в условия на вакуум. Характерно за смолите е, че имат висока газотворна способност, и т.к. като свързващо вещество се използваха в обмазките, това е довело до взаимодействие на стопилката с отделните се газове при изгарянето на карбофеновата смола от обмазката и впоследствие до образуване на газови дефекти във повърхностния слой на отливката.

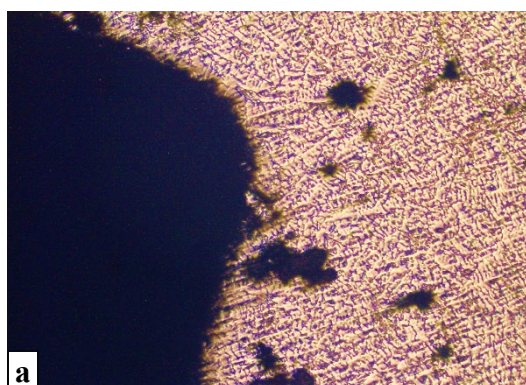
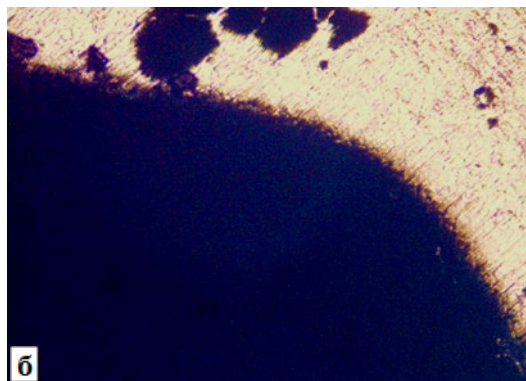


Фиг. 3. Микроструктура на пробни отливки: а- с противопоригарна обmazка от циркон $x100$, б- с противопоригарна обmazка от корунд $x65$, в- с противопоригарна обmazка от графит $x35$ и свързващо вещество карбофенова смола

Тъй като малко по-добри резултати се получиха при отливките, чийто модел е обмазан с графитна и корундова обмазка (фиг. 3, в), то бяха проведени и експерименти за изработване на сложнорелефни отливки – фиг. 4, като свързващото вещество на обмазката (карбофенова смола) се разреди в по-ниска концентрация (1:4). Но и при тези експерименти се наблюдаваха газови дефекти в повърхностния слой на отливката, въпреки че привидно се получаваха с ниска грапавост (фиг. 5).



Фиг. 4. Сложнорелефна отливка, при която модела е обмазан с графитна противопопригарна обmazка и свързващо вещество карбофенова смола



Фиг. 5. Пробни отливки: *а*- с противопопригарна обmazка от корунд и свързващо вещество карбофенова смола $\times 100$; *б*- с противопопригарна обmazка от графит и свързващо вещество карбофенова смола $\times 100$;

В случаите, в които опорната част на леярската форма се изгради със свързващо вещество водно стъкло и съответно същото се използва като свързващо вещество при противопопригарните обmazки, резултатите са значително по-добри. На фиг. 6 са показани получените сложнорелефни отливки. Както се вижда от фиг. 6 влиянието на използваните обmazки върху формирането на повърхността на отливките е значимо, т.к. видимо обmazаните повърхнини са с добра грапавост. Вижда се също, че в обема на отливката липсват газови дефекти (фиг. 7), което показва, че газовете, формирани вследствие на взаимодействие на стопилката и обmazката са незначителни и не попадат в обема на отливката, а пропиват в порите на леярската форма, следствие нейното вакуумиране. Тези резултати доказват, че обmazката не се нарушава при избрания метод за капилярно формование и също така са косвено доказателство за подобряване на връзката между обmazката и опорната част на формата. Също така за да бъде доказано това твърдение, в един от експериментите обmazката се нанесе частично (върху едната половина) по повърхността на стопяемия модел. След отливане се установи, че повърхността на обmazаната част се получи както при останалите експерименти, т.е. не се е получило разрушаване на обmazката по избрания метод на формование, също така няма наличие на газови дефекти, а в областта на необmazаната част се наблюдава силно изразен механичен пригар (фиг. 7, а).



а

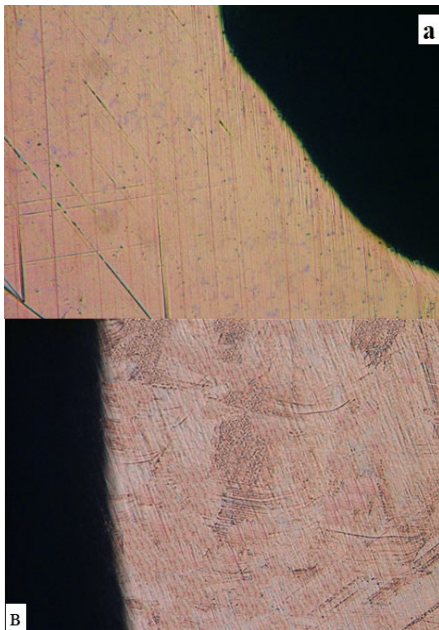


б

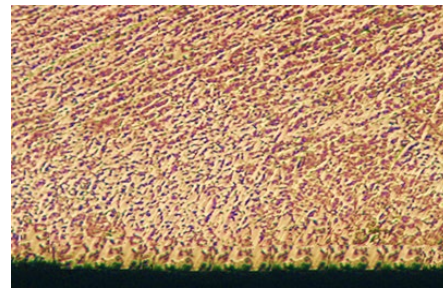


в

Фиг. 6. Сложнорелефни отливки, при които моделът е обмазан с противопригарна обmazка със свързващо вещество водно стъкло на основата на: а – корунд; б – графит; в – циркон



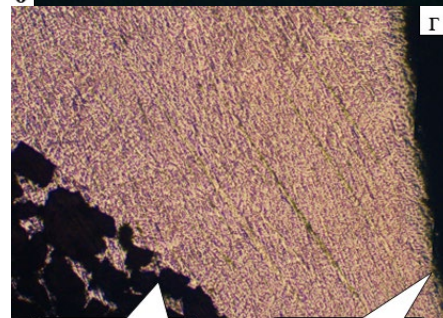
а



б



в



г

Необмазана
повърхност

Обмазана
повърхност

Фиг. 7. Микроструктура на сложнорелефни отливки с противопригарна обmazка: а - циркон и свързващо вещество водно стъкло $\times 100$, б - корунд и свързващо вещество водно стъкло $\times 65$, в - графит и свързващо вещество водно стъкло $\times 100$, г - частично обмазана с графитна обmazка $\times 35$

3.2. Резултати и анализи след измерване грапавостта на отливките

Измерванията на грапавостта на изследваните образци са извършени с помощта на Профилометър-профилограф „Калибър 205“ по стандартни методики – БДС [ISO] 4287/17, ISO 4288 [8, 9]. Измерванията са усреднени от 5 измервания по базова дължина 0,08 mm. Получените стойности на средноаритметичното отклонение на релефа Ra и височината на релефните неравности с 10 точки Rz, на образците, са дадени в табл. 2. Въпреки, че при експериментите със свързващо вещество карбофенова смола се наблюдаваха газови дефекти в близост до повърхностния слой на отливките, се взе решение на по-сполучливите от тях да се измери грапавостта на повърхнините. От данните в табл. 2 се вижда, че отливките, при които и за обмазките, и за изработване на леярската форма, е използвано свързващо вещество водно стъкло, са получени с грапавост по-ниска от тези с карбофенова смола. Получените стойности за Ra се обясняват с факта, че прахообразната фракция на тези обмазки е с приблизително еднакви размери на прахообразните частици (от порядъка на няколко микрона- 2-5 μm), поради което грапавостта на получените пробни отливки е приблизително еднаква, т.е. формираната се грапавост на повърхнината на отливката се определя от едрината на твърдата фракция. Получените отливки са с 1 степен на точност на повърхност на отливка [10], а сравнявайки грапавостта с грапавостта след механична обработка, получената повърхност на пробните отливки съответства на повърхност получена след фино струговане и грубо шлифоване.

Таблица 2: Получени стойности на средноаритметичното отклонение на релефа Ra и височината на релефните неравности с 10 точки Rz

Образец	Противопригарна обмазка	Свързващо вещество	Ra, μm	Rz, μm
1	корунд	Карбофенова смола	2.2	11.1
2	графит	Карбофенова смола	1.8	9.2
3	корунд	Водно стъкло	1.3	5.8
4	циркон	Водно стъкло	1.5	6.6
5	графит	Водно стъкло	1.2	5.6

4. Изводи

Въз основа на проведените изследвания и получените резултати може да заключим, че с използване на метода „Капиларно формование“ се осъществява много добра връзка между използваните обмазки и опорната част на формата по цялата повърхност. Става дума за технология, при която леярската форма не се изпича, както е в класическите технологии за получаване на сложнорелефни отливки, а само се изсушава до 150-200 °C. По този начин нагряването на формата се понижава с няколко стотин градуса, което само по себе си е предпоставка за по-ниска енергоемкост на процеса и също така ниската температура на нагряване на формата е предпоставка за получаване на форма без пукнатини.

Влиянието на използваните обмазки (на основата на корунд, циркон и графит и свързващо вещество водно стъкло) върху формирането на повърхността на сложнорелефни отливки е значимо, т.к. обмазаните повърхнини се получават с ниска грапавост ($Ra = 1.2 \div 1.5$), съответстваща на грапавостта на обмазката. Също така в обема на отливката липсват газови дефекти, което показва, че газовете, формирани вследствие на взаимодействие на стопилката и обмазката са незначителни и не попадат

в обема на отливката, а пропиват в порите на леярската форма, следствие нейното вакуумиране. Тези резултати доказват, че обмазката не се нарушава при избрания метод за капилярно формование и също така са косвено доказателство за подобряване на връзката между обмазката и опорната част на формата. За съжаление не така стои въпроса са с обмазките на основата на корунд, циркон и графит и свързващо вещество карбофенова смола, т.к. повърхността се получава с ниска грапавост $Ra = 1.8 \div 2.2$, но в близост до повърхностния слой се наблюдават газови дефекти.

Благодарности:

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са извършени по научно-изследователски проект НП 8/ 2023 в рамките на присъщата на ТУ-Варна научноизследователска дейност, финансирана целево от държавния бюджет.

Литература

1. Nwaogu, Ugochukwu Chibuzoh, and Niels Skat Tiedje. "Foundry coating technology: A review". *Materials Sciences and Applications* 2.08 (2011): 1143.
2. Противопригарные добавки и покрытия литейных форм. Современные технологии производства <https://extxe.com/383/protivoprigarnye-dobavki-i-pokrytija-litejnyh-form/>
3. Крушенко, Г. Г., В. В. Москвичев, and А. Е. Буов. «Противопригарные покрытия литейных форм и стержней, содержащие нанопорошки тугоплавких химических соединений». *Тяжелое машиностроение* 6 (2007): 31-33.
4. Hamaiaid, A., Dargusch, M. S., Davidson, C. J., Tovar, S., Loulou, T., Rezai-Aria, F., & Dour, G. (2007). Effect of mold coating materials and thickness on heat transfer in permanent mold casting of aluminum alloys. *Metallurgical and materials Transactions A*, 38, 1303-1316.
5. Spasova D., Radev R., Atanasov N., "Production of evaporate pattern molds by the capillary molding method", Third International scientific Congress "50 Anniversary Technical University of Varna", 2012, Proceedings, Volume IV, ISBN 978-954-20-0553-7 Vol. 4, p. 86 -89
6. LUCA, Alina, et al. "Improving the Quality of the Parts Made by Rapid Metal Casting Process", *Academic Journal of Manufacturing Engineering*, 12, 1 (2014).
7. Радев Р. Й., Спасова Д. Т., Атанасов Н. М., Иванова Р. И., Патент BG 65955 B1 „Метод за изготвяне на леярски форми“, 2010
8. Пламен Петров. Topography of Iron after Gaseous Nitrocarburising Andnitrocarbooxidising, Годишник на Технически университет-Варна, Варна 2006, с. 21-28
9. Георгиев Д., Технологични възможности на повърхностното пластично деформиране (ППД) при довършваща обработка на отвори във водещи бронзови втулки, 8. международна конференция „Авангардни машиностроителни обработки“, Кранево, 2008, с. 267- 272
10. Национальный стандарт российской федерации ГОСТ Р 53464 – 2009 <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/524/4293817941.pdf>



Layer-by-layer Construction of Metal Parts – Innovative Technology in Metalworking

Evgeni TONGOV, Krum PETROV, Manahil TONGOV,
Yasen HADJITODOROV, Plamen TASHEV

Institute of Metal Science, Equipment, and Technologies
with Center for Hydro- and Aerodynamics “Acad. A. Balevski”
at the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria
e-mail: ptashev@ims.bas.bg

Abstract

This paper presents a 3D system for “layer-by-layer construction of metal parts” that involves the use of selective plasma remelting by metal fusion and adapted torch drive from a commercially available 3D polymer printer modified by us that deposits successive layers of metal in such a way that it forms a 3D solid.

Keywords: WAAM, 3D system, layer

Послойното изграждане на детайли – иновационна технология в металообработването

Евгени ТОНГОВ, Крум ПЕТРОВ, Манахил ТОНГОВ,
Ясен ХАДЖИТОДОРОВ, Пламен ТАШЕВ

1. Увод

Послойното изграждане на детайли със селективно плазмено претопяване чрез синтез на метал (WAAM) е вид адитивен производствен процес. WAAM съществува от няколко десетилетия, но скорошният напредък в технологиите го направи популярен и приложим за производството на детайли от метал. При типичен WAAM процес метална тел се подава през заваръчна горелка, която е монтирана на роботизирана ръка. Горелката създава електрическа дъга между заваръчната тел и основата, която може да бъде плоска плоча или съществуващ детайл, подлежащ на ремонт или модификация. Топлината генерирана от дъгата, стопява заваръчната тел, която след това се отлага върху основата, слой по слой, за да се изгради желаната 3D форма. Едно от основните предимства на WAAM е възможността да се произведат големи метални компоненти бързо и рентабилно. Тъй като процесът използва тел, а не прах или течност, той елиминира необходимостта от скъпа и отнемаща време подготовка и обработка на материала. Освен това при този метод може да се използва голямо разнообразие от метални сплави, включително алуминий, стомана и титан, което го прави универсално приложим. WAAM е особено подходящ за космическата и автомобилната промишленост, където са необходими големи, сложни детайли от метал. Например WAAM се използва за производство на компоненти за самолетни двигатели като горивни камери и турбинни лопатки, както и автомобилни части за окачването и спирачната система. WAAM може да се използва за производството на промишлени машини, нефтено и газово оборудване и др. [1],[2],[3],[4].

2. Разискване на проблема

Въпреки многото си предимства WAAM има и някои ограничения, които трябва да се имат в предвид. Едно от основните предизвикателства с WAAM е постигането на последователно и равномерно отлагане на металната тел. Това може да бъде трудно постижимо, особено при сложни геометрии и може да доведе до неравномерност на механичните свойства и повърхнините. Освен това процесът изисква внимателен контрол на параметри като скорост на подаване на телта, напрежение на дъгата и скорост на движение, за да се гарантира, че разтопеният материал ще бъде качествено напластен. Получените детайли са със сравнително висока грапавост на повърхнините, което налага задължителна механична обработка [5],[6],[7]. В някои случаи се наблюдава и възникване на вътрешни напрежения в детайлите, което налага допълнителна термична обработка.

3. Подход и методология

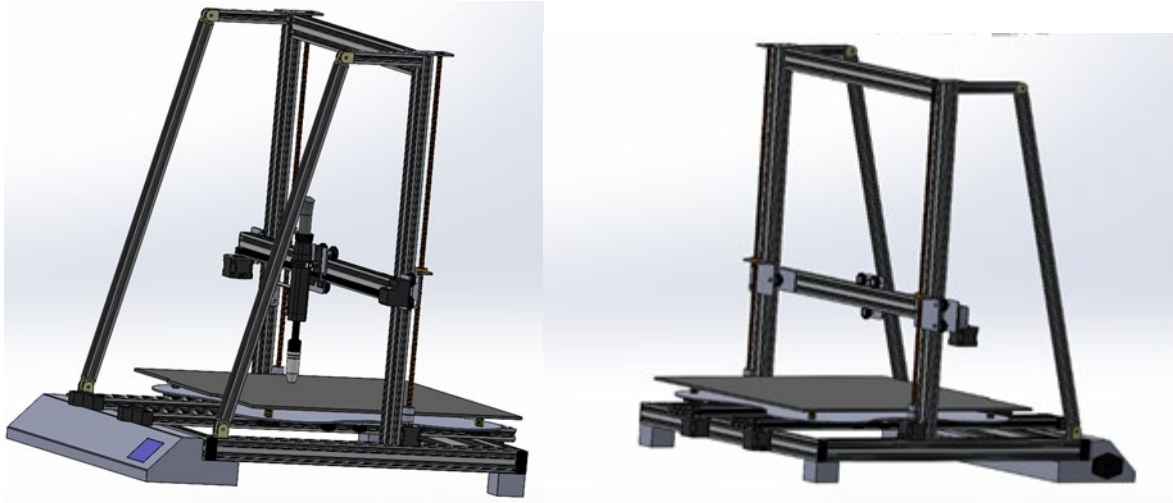
С оглед на изложеното по-горе и с цел постигане на по-добри резултати ние разработихме 3D система за „послойно изграждане на детайли от метал“, която включва използването на селективно плазмено претопяване чрез синтез на метал и адаптирано задвижване на горелката от съществуващ на пазара модифициран от нас 3D принтер за полимери, който отлага последователни слоеве метал по такъв начин, че да образува 3D твърдо тяло.

С цел намаляване на разходите и времето за изработване на нашата 3D принтираща система чрез селективно плазмено претопяване, решихме да използваме готов 3D принтер за полимери марка Wanhao модел Duplicator 12 D12/500 D12-500 Double Extruder, фиг.1.



Фигура 1. Wanhao Duplicator 12 D12/500 D12-500 Double Extruder

След детайлно заснемане на размерите от съществуващия принтер в среда на SolidWorks построихме 3D CAD модел на принтера. Това ни даде възможност да изпробваме различни модификации на задвижването и да изберем най-подходящата комбинация, която да реализираме на практика. На фиг.2 е показан 3D модела на принтера.

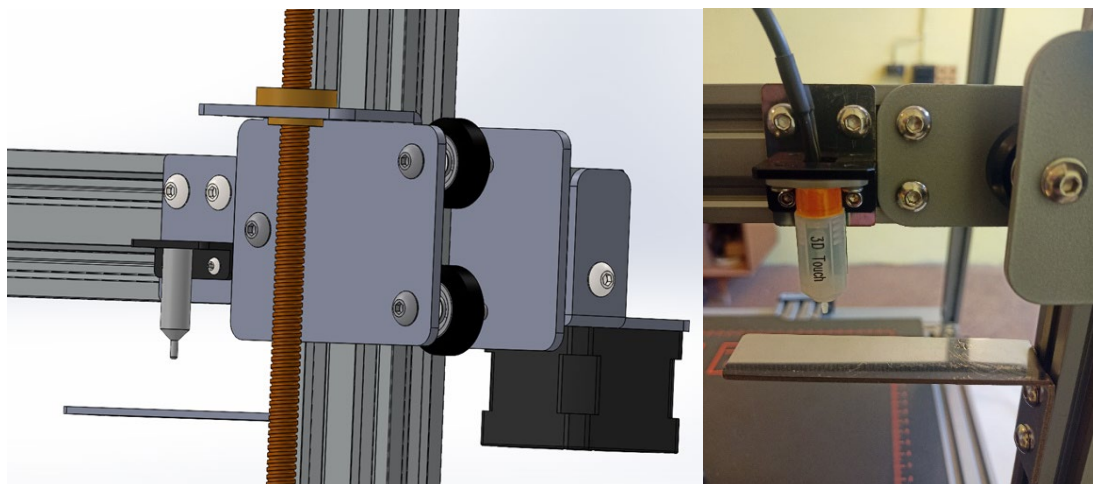


Фигура 2. 3D модел на принтера

За да реализираме задвижване на плазмената горелката от 3D принтера преместихме датчика за височина „3D Touch“, който е монтиран на принтиращата глава фиг.3. а и б.

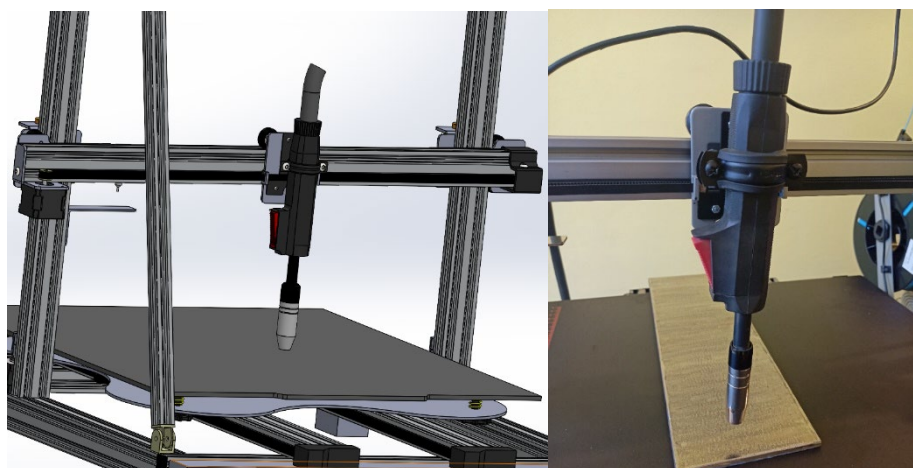


Фигура 3. а. Принтираща глава с „3D Touch“



Фигура 3. б. Нова позиция на „3D Touch“

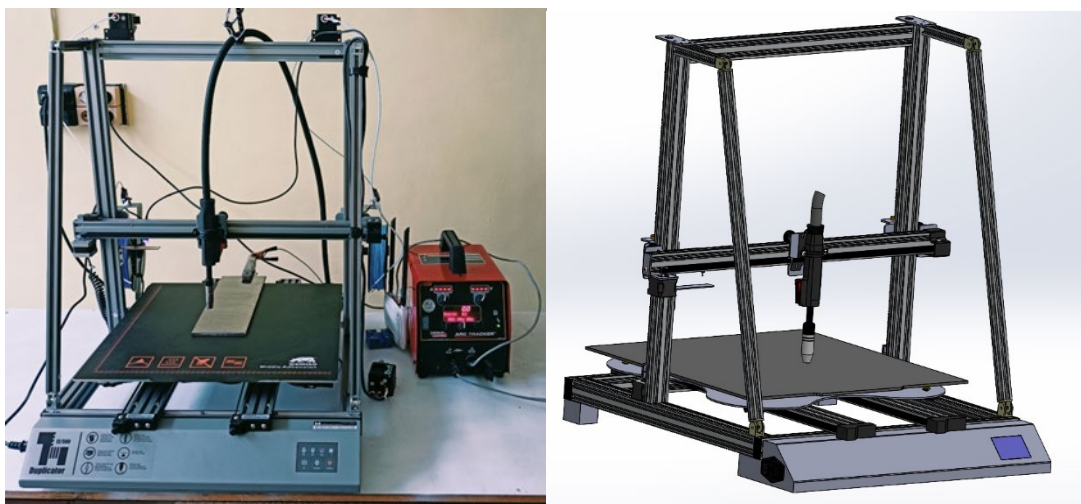
За захващане на плазмените горелки проектирахме и изработихме специална скоба, която монтирахме на мястото на оригиналната принтираща глава. Благодарение на пробите, които направихме предварително с 3D CAD модела на принтера скобата беше проектирана, така че при монтажа и да няма никакви промени в оригиналната конструкция на принтера фиг. 4.



Фигура. 4. Скоба за захващане на горелката.

3. Заключение

Въз основа на 3D модела на принтера и детайлите, които проектирахме и изработихме, успешно модифицирахме съществуващия 3D принтер, предназначен за използване на пластмасови добавки в 3D система за „послойно изграждане на детайли от метал“ фиг. 5. Реализирахме стабилно захващане на заваръчната горелка. Осигурихме плавно и равномерно движение на горелката, което е предпоставка за постигане на по-високо качество на принтираните детайли. Постигнахме пълна синхронизация между 3D принтера и заваръчния източник. Програмирахме софтуера за генериране на контролния файл, така че да получим устойчив процес на 3D принтиране на метални детайли чрез селективно плазмено претопяване на метал.



Фигура. 5. 3D система за „последно изграждане на детайли“ чрез селективно плазмено претопяване на метал.

Благодарности

Авторите са благодарни на финансовата подкрепа на Фонд „Научни изследвания“, Договор № КП-06-Н57/10, за извършване на необходимите изследвания.

Литература

1. Udpa L., S. S. Udpa. Neural Networks for the Classification of Non-Destructive Evaluation Signals. IEE Proceedings-F, Vol. 138, No. 1, 1991, pp 201-205.
1. 3D printing with Metals by Fernando Ribeiro Universidade do Minho Industrial Electronics Dep. Campus de Azurém 4800 Guimarães PORTUGAL
2. <https://www.strategyand.pwc.com/gx/en/insights/2019/metals-3D-printing.html>
3. Petrovic V, Vicente Haro Gonzalez J, Jordá Ferrando O, Delgado Gordillo J, Ramón Blasco Puchades J, and Portolés Griñan L. “Additive layered manufacturing: sectors of industrial application shown through case studies”, International Journal of Production Research, 49, 1061–79, 2011.
4. Pearce JM, Morris Blair C, Laciak KJ, Andrews R, Nosrat A, and Zelenika-Zovko I. "3-D printing of open source appropriate technologies for self-directed sustainable development", Journal of Sustainable Development, 3, 17, 2010.
5. Abe F, Osakada K, Shiomi M, Uematsu K, and Matsumoto M. “The manufacturing of hard tools from metallic powders by selective laser melting”, Journal of Materials Processing Technology,
7. P. Kazanas, P. Deherkar, P. Almeida, H. Lockett and S. Williams. “Fabrication of geometrical features using wire and arc additive manufacture”, Proc. IMechEng B, 2012, 226B, (6), 1042–1051.



Methodology of Hybrid Welding Layering and Cladding on Flat Surfaces

Nikolay NIKOLOV, Tatyana MECHKAROVA, Nikolay VALCHEV

Technical University – Varna, Varna, Bulgaria,
e-mails: nikolai_75bgv@abv.bg, tatqna13@abv.bg, armicronn@gmail.com

Abstract

The article presents existing methodologies for hybrid (MIG-MAG and plasma powder) layering on flat surfaces.

Keywords: MIG-MAG, plasma powder layering

Методика за комбинирано напластяване на плоски повърхнини

Николай НИКОЛОВ, Татяна МЕЧКАРОВА, Николай ВЪЛЧЕВ

1. Увод

В настоящата работа са изследвани разновидности на методите за формиране на защитни слоеве чрез комбиниране на класическите методи за плазмено прахово напластяване със методите за полуавтоматично наваряване чрез добавъчна тел (МАГ).

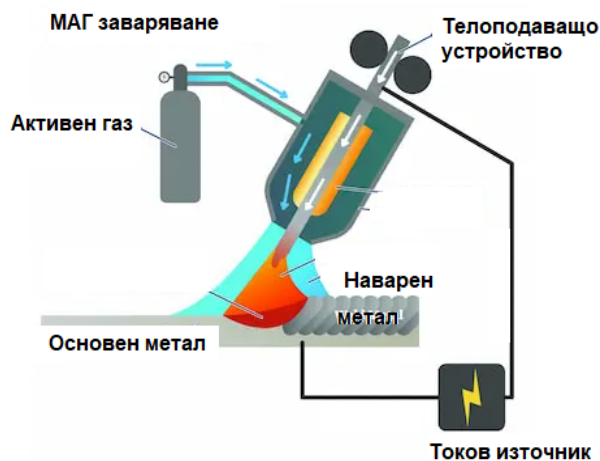
Необходимостта от комбиниране на класическите методи се поражда от създаване на защитни слоеве от скъпи и редки метали и сплави, положени върху масово използвани базови метали със сравнително ниска цена. Методът е приложим в химическата и тежка котлова промишленост, където средата е химически агресивна и с повишени температури. Възможностите за приложение на хибридните методи е както за получаване на слоеве върху повърхнините на новоизградени метални конструкции, така и за ремонтно възстановителни процеси при съществуващи дефектирани такива, където подмяната на оборудването с ново е икономически неизгодно.

2. Технологични разновидности на методите

2.1. МИГ методи за напластяване на повърхностни слоеве от високолегирани стомани

Методът МАГ за полуавтоматично напластяване в защитна газова среда с добавъчна тел е намерил широко приложение при ремонтно възстановителни процеси. Характерно за метода е създаване на слой с по-малък провар, а напластеният участък е с по-голяма височина от тази на РЕДЗ. Т.е. можем да говорим за голяма производителност, тъй като дава възможност и за голяма автоматизация.

Схема на метода и общ вид на оборудването е представена на фигура 1.

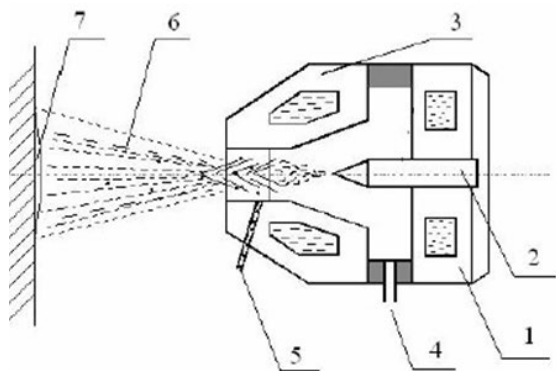


Фигура 1. Схема и общ вид на оборудване за МАГ (MAG) наваряване

2.2. Плазмени методи за напластяване

Плазмените методи са с по-висока себестойност на оборудването и с по-висока специализация на оператора, ползващ оборудването. Те са по-използвани при вътрещехова употреба при изграждане на ново оборудване. Това ги прави по-рядко използвани от другите методи. Дебелината на напластените слоеве е по-малка от на МАГ метода, но тук имаме възможност да топим както добавъчна тел, така и прах.

Схема и снимка на оборудването са показани на фигура 2.



Фигура 2. Плазмено прахово напластяване:

- 1- корпус на плазмотрона; 2- волфрамов електрод; 3- охлаждаем анод; 4- канал за подаване на газа;
5- канал за подаване на праха; 6- плазмена струя; 7- напластявана повърхност

2.3. Комбинирани методи

А) Едновременно напластяване

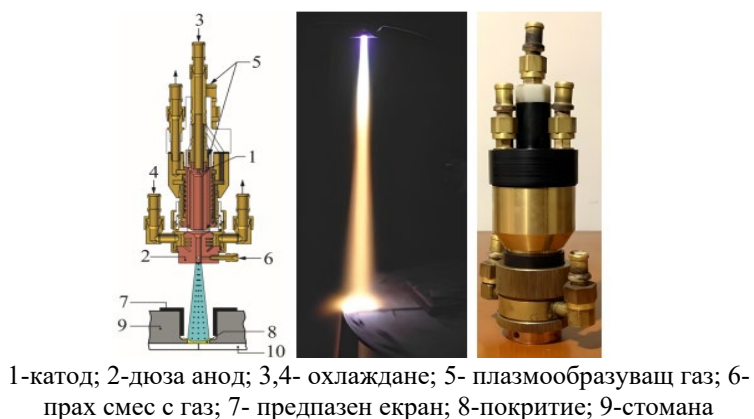
След подробно проучване в научни публикации, са установени значителни изследвания на структура, адхезионна връзка, механични свойства и химичен състав на създадени защитни слоеве при комбинирано използване на два метода плазмено и полуавтоматично в газова среда напластяване. На фигура 3 е показан пример за такъв процес.



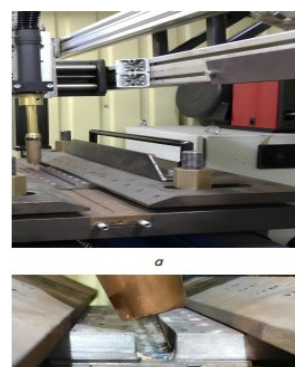
Фигура 3. Комбинирано Плазмено-МИГ напластяване

Б) Последователно (хибридно) нанасяне на слоевете.

При проучването на научната литература не са намерени много данни и изследвания за процесите, които протичат при последователно (хибридно) нанасяне на защитни слоеве. Недостатъчно са изследвани и структурните, адхезионни и механични показатели, което прави изследванията в тази посока особено актуални.



Фигура 4. Плазмено прахово напластяване



Фигура 5. Стенд за наваряване чрез МАГ метод

3. Приложение на комбинираните методи

Комбинираните методи намират популярност основно в ремонтно възстановителните технологии, където подмяната на дефектирало технологично оборудване е многократно по-скъпо от възстановяването му.

Технологиите за хибридно или комбинирано използване на класическите методи за наваряване и напластяване намират приложение и при изработване на ново оборудване, когато материалите им са скъпи или редки.

Предимство на създаваните слоеве е не само икономическата изгода, но и създаването на комплексни структурни и механични свойства, с което се разширява областта на приложение (корозионна устойчивост, износоустойчивост, топлоустойчивост и др.). За да се постигне това е необходимо да се получи добра химична връзка между отделните слоеве с минимални напрежения и дефекти. За тази цел е важно да се подберат подходящи добавъчни материали и режими на работа на технологичното оборудване.

Недостатък при комбинирането на методите е усложняване на апаратурата и нейното управление. Необходими са стендове (автомати и манипулатори), които да носят подвижните възли и пренастройване на блока за управление на технологичните режими (ток, напрежение, подаване на добавъчен материал и технически газове).

Хибридните технологии от своя страна нямат този проблем понеже не се разкомплектоват отделните апаратури, а се използват последователно една след друга. В тяхна полза е и възможността за прецизиране дебелината на отделните слоеве и химичната връзка между тях.

Литература

1. Korzhyk V., V. Khaskin, O. Ganushchak. Features of structure formation when surfacing steel (iron) on titanium with plasma sprayed coatings in the technology of obtaining butt joint of bimetallic plates “titanium – steel”, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774, 2/12 (122) 2023, UDC 621.791.755.5, DOI: 10.15587/1729-4061.2023.275510.
2. Гошкодеря М. Е., Т. И. Бобкова, С. П. Богданов, А. В. Красиков, М. В. Старицын, А. А. Каширина. Напыление износостойких покрытий из плакированных порошков TiB₂/Ti и HfB₂/Ti, Izvestiya. Ferrous Metallurgy. 2023; 66(1): 27–34., УДК 621.793.7:621.762, DOI: 10.17073/0368-0797-2023-1-27-34
3. Потанин А.Ю., Ю.С. Погожев, С.И. Рупасов, Н.В. Швындина, Е.А. Левашов. Получение СВС-керамики HfB₂-SiC для высокотемпературных областей применения. В кн.: Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка: Материалы 14-й Международной научно-технической конференции, посвященной 60-летию порошковой металлургии Беларуси, Минск, 9–11 сентября 2020 года. Минск: ИД «Белорусская наука»; 2020: 409–414
4. Guo X., P. Zhang, H. Li, M. Wang. Design and performance of nitrogen-alloyed iron-based coating for enhancing galling resistance by plasma transferred arc welding, Materials Letters 346 (2023) 134535, <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2023.134535>