

*Education, Audiovisual and Culture  
Executive Agency of European Union*

*Katholieke Universiteit Leuven*

*International Educational Project TEMPUS "MMATENG"*

*Pryazovskyi State Technical University*

*Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki*



Tempus



**MMATENG**

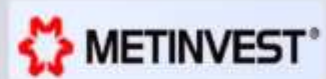
*International Scientific-Methodological  
Conference*

***"HOW TO TEACH MATERIAL  
SCIENCES: NEW APPROACHES  
AND EXPERIENCES  
FROM THE MMATENG PROJECT"***

*Conference proceedings*

*July 23*

*Krakow-Mariupol, 2015*



**Education, Audiovisual and Culture Executive Agency of European Union**

**Katholieke Universiteit Leuven**

**International Educational Project TEMPUS “MMATENG”**

**Pryazovskyi State Technical University  
Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki**



**INTERNATIONAL SCIENTIFIC-METHODOLOGICAL CONFERENCE**

**«HOW TO TEACH MATERIAL SCIENCES:  
NEW APPROACHES AND EXPERIENCES FROM  
THE MMATENG PROJECT»**

**Conference proceedings**

***Under the general editorship of Professor Oleksandr Cheiliakh***

**Krakow – Mariupol, July 23, 2015**

## UDC 620

International Scientific-Methodological Conference «How to teach material sciences: new approaches and experiences from the MMATENG project», conference proceedings (23 July 2015, Krakow-Mariupol) /ed. O. Cheiliakh. – Krakow: Politechnika Krakowska, 2015. – 133 p.

The proceeding contains 44 of the report (thesis). Compiling proceeding made with the original provided by the authors in electronic form. All reports printed in the original language.

### Organizing committee

Oleksander Cheiliakh, D.Sc. (Eng.), Prof. (PSTU, Ukraine)  
Peter Arras, PhD. (KU LEUEN, Belgium)  
Arnold Sterenharz, Dr.-Eng. (Germany)  
Janusz Mikula, Dr. hab. inż., Prof. (Politechnika Krakowska, Poland)  
Natalia Koptseva, D.Sc. (Eng.), Prof. (MSTU, Russia)  
Avigdor Zangvil, Dr., Prof. (Azrieli College Engineering, Israel)  
Zoya Duriagina, D.Sc. (Eng.), Prof. (Ukraine)  
Jean-Bernard Vogt, D.-Eng., Prof. (Universite Lille, France)  
Peter Loboda, D.Sc. (Eng.), Prof., Corresponding Member of the NAS of Ukraine (KPI, Ukraine)  
Illan Goldfarb, D.Sc., Prof. (Israel)  
Peter Savchuk, D.Sc. (Eng.), Prof. (LNTU, Ukraine)  
Yulbars Mansurov, D.Sc. (Eng.), Prof. (DVTU, Russia )

### Editorial board

Julia Samotugina, Ph.D., Ass. Prof. (PSTU, Ukraine)  
Victoria Ivashchenko, PhD (Eng.), Ass. Prof. (PSTU, Ukraine)  
Natalia Karavaeva, Eng. (PSTU, Ukraine)

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

© Copyright by Instytut Inżynierii Materiałowej Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej, Cracow 2015

ISBN 978-83-941370-3-8

---

Publisher: Instytut Inżynierii Materiałowej Wydziału Mechanicznego  
Politechniki Krakowskiej, ul. Jana Pawła II 37, 30-864 Kraków;  
tel.: 0048 12 628 38 21, fax: 0048 12 628 38 24 e-mail: m-2@mech.pk.edu.pl

Druk i oprawę wykonano w Dziale Poligrafii Politechniki Krakowskiej  
ul. Skarżyńskiego 1, 31-866 Kraków; tel. 0048 12 628 37 29

Leuven, Thursday, 25 June 2015

**Dear ladies and gentlemen,  
Dear colleagues,**

As the coordinator of Tempus MMATENG, it is my pleasure to welcome you on this conference “How to teach Material Sciences: new approaches and experiences from the MMATENG project.”.

New materials and better use of existing materials are the basis of technical innovations worldwide. As a paradox material sciences is not very often regarded as important for engineers, who are nevertheless the prime innovators in the world. To cope with the new materials and material technologies and to incorporate them more in higher education we started the tempus MMATENG-project. Therefore it is a real pleasure to see that many people in all participating countries are engaged in the project and its ideas.

This methodological conference reflects the work done by all of you, and I hope that it will give you new insights in how you can improve the teaching of material sciences to students. Meeting colleagues from different institutions, discussing methods and solutions is one of the aims of the project and this conference is a good opportunity to meet these colleagues face-to-face for discussion and exchange of ideas, for discovery of good practices and for finding new solutions. I also wish that collaboration in the project and beyond can be stimulated more by this initiative.

Finally I would like to thank the Cracow University of Technology for its hospitality to host this conference, and the Pryazovskyi State Technical University and the Cracow University of Technology for the organization of the conference. I wish for a successful conference and look forward to the results of the work presented.

Yours sincerely,

Dr ing. Peter Arras  
Coordinator tempus MMATENG  
International relations officer  
KU Leuven | Faculty of engineering technology



## **Dear colleagues!**

The solution of this urgent task has found its adequate reflection in international educational project, adopted by European TEMPUS Union, called: «Modernization of two cycles of Masters' and Bachelors' (MA, BA) curricula on the basis of competence in the sphere of engineering science of materials in accordance with the best experience, gained by Bologna process» (MMATENG).

The Pryazovskyi State Technical University and the Cracow University of Technology organized International Scientific-Methodological Conference «HOW TO TEACH MATERIAL SCIENCES: NEW APPROACHES AND EXPERIENCES FROM THE MMATENG PROJECT». Participants of MMATENG project Consortium, Universities scientists from Belgium, Germany, Poland, France, Israel, Russia and Ukraine made presentations on the subjects related to MMATENG with publication of presentation materials.

I am glad to greet all colleagues – participants of this very interesting and important Conference.

The objective of Conference is integration of efforts of scientists in development of educational aspects and proposals for implementation of new European tuition programs and perfection of the methods of students training in the domain of engineering science of materials.

I, hereby, sincerely wish all participants of the Conference fruitful work, successful reports and pleasant impressions at communication, discussing creative discoveries and rational useful proposals.

I am quite confident that methodical and scientific findings of the researchers will help to advance in implementing of tasks and objectives of MMATENG project and that will further promote close cooperation of the systems of higher education of EU countries, Israel, Ukraine and Russia.

Sincerely yours,

Professor Oleksandr P. Cheiliakh, DSc (Eng.) –  
Coordinator of MMATENG project in Ukraine,  
Vice-Rector in science and pedagogic of PSTU,  
Head of Department of Metal Science and  
Heat Treatment of Metals



## USE OF REMOTE LABORATORIES FOR MATERIAL SCIENCES IN EDUCATION AND RESEARCH.

**Arras P.<sup>1</sup>, Kozik T.<sup>2</sup>, Tabunshchik G.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> PhD., Docent KU Leuven, Leuven, Belgium (peter.arras@kuleuven.be)

<sup>2</sup> DrSc., Prof UKF, Nitra, Slovak Republic (tkozik@ukf.sk)

<sup>3</sup> PhD., Assoc Prof ZNTU, Zaporizhzhya, Ukraine (galina.tabunshchik@gmail.com)

Advancements in the development of materials and technologies significantly contribute in successful progress in natural sciences and technical branches. But as teaching time is a limited resource in education it is necessary to explore and propose new and more efficient ways of offering the knowledge on new findings to students. In this context we explore the use of remote experiments in the field of material sciences as a new teaching method.

### Introduction

There is an increasing amount of new materials and better use of materials. So universities faces several problems: teaching engineers – in particular design engineers – requires for an important part of the curriculum to devote to material sciences to teach on these new findings. Teaching engineers also means offering ample opportunities for experimenting and training practical skills. As teaching resources (both in teaching time and in laboratory means) is limited and mobility of the students is growing each year new methods for transferring knowledge and skills needs to be explored.

University nowadays form the basis for research platforms for business. Similar problems are faced in the research sphere - limited resources with international teams located in different countries.

### Methods and materials

Considering the new learning approaches, we also need to take into consideration self-learning and distant learning. One of the examples of good practice is developed in KU Leuven technology Campus De Nayer with the e\_learning environment CALM (Computer Aided Learning Module). CALM (Computer Aided Learning Module) is an internet supported e\_learning environment with the use of virtual and remote laboratories to teach material sciences (see Fig.1). [1]



Fig. 1 View of the CALM e\_learning environment

The CALM is a learning environment containing theoretical contents and backgrounds, laboratory manuals for the hands-on labs at university, and a virtual and a remote lab for the testing on the difference between material and shape stiffness (see 2). CALM is aimed to be used in the classroom sessions, as help during hands-on labs and for self-study. The learning environment and the labs were tested with bachelor students in engineering to test the effectiveness on the learning. Results showed no difference in knowledge between students using the remote lab and students using the hands-on labs for the bending test. The bending test is used to measure Young's modulus.

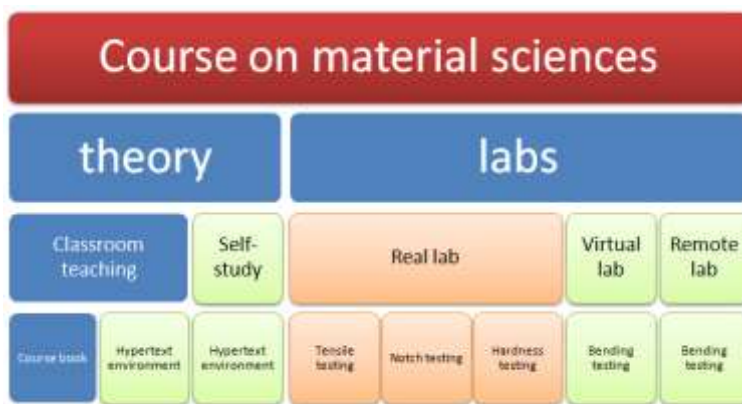


Fig. 2 Structure of the CALM.

As mentioned, an important role is given to remote labs in the CALM. The remote labs can be classified as online interactive labs constructed as virtual or as interactive remote experiments (RE). The RE in CALM is a 2-point bending test, where displacements are read on a simple reading scale. As such it is close to an hands-on experiment: different parameters can be modified (force, section) and no automated readings is provided so that students needs to use the experimental values themselves to calculate Young's modulus and need to also calculate the accuracy of their results considering accuracy of readings, measuring tools et cetera. These outcomes were chosen so that RE can really substitute the hands-on 3-point bending test lab with the same learning goals. The construction of the RE was kept simple with standard pneumatic components to make a robust, safe and easy to maintain lab. This setup allows the re-use of components and offer possibilities to more easily rebuild the lab for new materials and different experimental approaches.

Extended possibilities of the RE: CALM and its' labs are designed for educational purposes but can be extended for more research purposes.

The idea is to use the infrastructure not only for teaching. By extending the supporting study materials, it can be used as background information for more different experiments. The RE-environment can be modified and enlarged with all sorts of the non-destruction experiments. This can help to save resources for experiments and to synchronize the work of a distributed team. As an example we refer to another remote laboratory for material sciences at <http://remotelabsup.fe.up.pt/experiments.htm>. There is a remote lab with a 2-point bending test. This system is used by the mechanical engineering students to validate experimentally the displacements calculated by means of FEA for the different loads. [2]

The use of RE will become more popular in education and research when the technical problems concerning internet access and imaging will have been solved. Many existing RE struggle with the technical solutions for streaming video and for security on the access to the labs [3]. Open ac-

cess labs, as were once the mainstream idea in the RE-community, have mostly been abandoned as maintenance costs are too high. Most RE nowadays have access exclusively for the own students of the home university. However, networks of universities working closely together can benefit from common RE-platforms and can easily exchange expertise on this. [4]

### **Conclusion**

Constructing a mechanical RE with similar possibilities as a real lab was a challenge. The learning outcomes reached through the use of the RE are the same as in the hands-on labs. The CALM and RE proved to be very helpful to stimulate bachelor students in their study of material sciences.

The construction of a RE needs careful planning – both from the technical side and the didactical point of view [5] . When working on RE and internet supported learning environments users can benefit a lot if a network of universities work on a common platform. The knowhow, contents and use will be stronger and more widespread if more teachers work on the same experiments. The network is also a guarantee that the didactical part of the learning environment is covered, which is otherwise too often forgotten.

### **List of references**

1. Arras, P., Tabunshchik, G., Kolot, Y., & Tanghe, B. (2014). Architectural Characteristics and Educational Possibilities of the Remote Laboratory in Materials Properties. 2014 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV) (pp. 94-97). Porto, Portugal: Polytechnic of Porto (ISEP) in Porto, Portugal.
2. Amaral, R., Santos, A. D., & Mendes, J. G. (2014). Numerical Procedures as a Complement to an Experimental Remote System. 2014 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV) (pp. 411-415). Porto, Portugal: Polytechnic of Porto (ISEP) in Porto, Portugal
3. Arras, P., Henke, K., Tabunshchik, G., Van Merode, D. (2015). Iterative Pattern for the Embedding of Remote Laboratories in the Educational Process. 12th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV) (pp. 52-55). Bangkok, Thailand. IEEE.
4. Dormido, S., Sanchez-Moreno, J., Vargas, H., de la Torre, L., & Heradio, R. (2011). UNED Labs: a network of Virtual and Remote laboratories. In J. G. Zubia, & G. R. Alves, Using remote labs in Education (pp. 253-271). Bilbao, Spain: University of Deusto.
5. Kozik, T., & Šimon, M. (2012). Preparing and managing the remote experiment in education. ICL 2012 : 15th International Conference on Interactive Collaborative Learning (pp. 1-4). Villach, Austria: CORDIS.



## TEACHING THEORETICAL AND APPLIED ASPECTS OF THE DESIGN OF NEW MATERIALS FROM RENEWABLE SOURCES

**Kuźniar P.<sup>1</sup>, Plichta P.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>MSc., Cracow University of Technology, Kraków, Polska. (pkuzniar@pk.edu.pl)

<sup>2</sup>MSc., Cracow University of Technology, Kraków, Polska, (piotr.plichta@mech.pk.edu.pl)

Any modern course of materials engineering should provide the students with detailed but simultaneously tailored information on the materials made from renewable sources — on their division, applications, advantages and disadvantages. It is because such materials have become more and more important for the global industry as the available amount of ores and fossil fuels is expected to gradually decrease posing a risk of future international conflicts not to mention the rapid decline of entire market sectors and human life standards. Moreover, modern materials fully or partially made from renewable sources — primarily biopolymers and their composites (natural and synthetic or modified) obtained from various kinds of biomass feedstock — often have unusual properties hardly obtainable solely from the traditional feedstock.

Therefore, one should teach students how to effectively distinguish between the traditional and novel biomaterials and how to actively predict, recognize, and assess the trends regarding the biomaterials market. In such teaching process much attention should be paid to the development of students' practical skills and knowledge connected with the advanced methods of prediction and examination of mechanical and structural properties of the referred materials. However, the modern course in materials engineering should also shape the ability of its alumni regarding the preliminary assessment of materials biodegradability and water absorption measuring the expected impact of these materials on the environment. It is also advisable to acknowledge the students with the profound importance of the notion of material life cycle, the steps within it and how it influences the overall possibility of recycling.

In the above-mentioned teaching process the most recent European Union standards should be reflected, which would contribute to the current trends in legislation and in the wider policy of the European Union towards the development of the verge and, at the same time, inseparable bond of the society and environment, leading to the creation of more and more green, safe and sustainable way of progress in our continent. As a result, materials engineering may become a real European bridge to the future: literally and metaphorically.

### List of references

1. Darshil S.U. Natural fibre composites: Comprehensive Ashby-type materials selection charts, - *Materials & Design*, 62, 2014. - 21–31 p.
2. Dittenber B.D., GangaRao H. V.S. Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure, - *Composites: Part A*, 43, 2012. - 1419–1429 p.
3. Kuźniar P., Kuciel S. Materials made from renewable sources. Notes and recommendations for the lecturers. – Kraków: Wydawnictwo Instytutu Inżynierii Materiałowej Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej, 2015. – 79 pp.
4. La Mantia F.P., MorrealeM., Green composites: A brief review, - *Composites: Part A*, 42, 2011. - 579–588 p.
5. Mooney B.P. The second green revolution? Production of plant-based biodegradable plastics, - *Bi-ochemical Journal*, 418, 2009, - 219-232 p.



## **MODERNISATION OF CURRICULA IN MATERIAL ENGINEERING UNDER MMATENG PROJECT**

**Oleksandr Cheilaikh**

Professor, DSc (Engineering),

Vice-Rector of PSTU for Science and Pedagogics, Mariupol, Ukraine

The rapid development of today material science, which determines the level of equipment and technologies for the production of materials in many economically developed countries, requires the improvement of academic and training programmes for specialists with higher education in this field of knowledge. The solution to this urgent problem has found its adequate reflection in TEMPUS international educational project of the European Union – “Modernization of two cycles (MA, BA) of competence-based curricula in Material Engineering according to the best experience of Bologna Process” (MMATENG).

The project is to be implemented within the 2014 - 2016 and involves 16 universities in Belgium, Germany, Poland, France, Israel, Russia and Ukraine. Ukrainian partners include: National Technical University of Ukraine Kiev Polytechnic Institute, Lviv Polytechnic National University, Lutsk National Technical University, and Pryazovskyi State Technical University, the latter is the project coordinator for Ukraine. Among other Consortium members are: Ministry of Education and Science of Ukraine, two factories – one in Russia, another in Ukraine - PJSC Azovstal Iron & Steel Works.

The project envisages introduction of curricula and study programmes of 14 new courses, 11 of which relate directly to the field of Material Engineering and the other three are interdisciplinary courses which are very important for many engineering disciplines in steel-making and other industries.

Based on the analysis of the existing curricula and syllabi, as well as on the survey among the specialists of Mariupol factories - PJSC “MK” Azovstal”, PJSC “MMK Ilyich”, PJSC “Azovmash” - PSTU project team developed scientific-methodical concept and the Workplan for modernization of the curricula and the study programmes which belong to the degree area of Material Engineering: Applied Materials, Metal Science, Heat Treatment of Metals as applied to Material Engineering.

The following courses which are taught to the students of metallurgical profile, like Metallurgy of Ferrous Metals, Metal Working with Pressure, Industrial Heat Engineering, Foundry, have been reviewed and revised: Metal Science and Heat Treatment of Metals, Mechanical Properties of Metals. Among new disciplines recommended by Grant Holder - KU Leuven, Belgium – from their experience as an EU university are Material Selection, Light Weight Materials for Transportation Applications, Damage of Materials, Basics of Material Science, Metallurgy, Corrosion and Resistance of Materials. These courses represent a special interest from the point of view of their professional and practical applicability.

Among interdisciplinary courses which are extremely important for enhancing employability of Ukrainian graduates but have not been in the curricula so far at Ukrainian universities are: Survival in Labour Market (career management), Effective Communication in Groups, Presentation Skills (BA/MA), Project Management (business planning, funding, marketing, performance). These courses are being implemented under the project Workplan.

Modernization of curricula and syllabi requires a differentiated approach to the process of planning of the implementation of the recommended courses, i.e. replacing the less significant and minor subjects, complementing the existing disciplines with new training modules, while maintaining the integrity and coherence of a course.

International Scientific-Methodological Conference «How to teach material sciences:  
new approaches and experiences from the MMATENG project»

---

An interesting discipline, Perspective Strengthening Technologies of Materials Treatment, developed at SHEI "PSTU" was recommended for implementation in the educational process at the universities of the Consortium for the students of material engineering.

An important feature of the international educational project is a competence-based approach to the modernization of curricula by formation of professional competencies of future professionals. This approach provides orientation to the requirements of the today labour market with a focus on the needs of industrial partners in ferrous metallurgy, machine building, power engineering, transportation and other important industries. To realize this approach, surveys are conducted among the graduates and leading specialists of metallurgical and machine-building enterprises to assess how effective are individual disciplines and training programs for bachelors and masters. Based on the results of the surveys, adjustment of curricula and syllabi is planned in order to address the demands of modern production. Modernization of the curriculum, supplementing it with training modules which address the needs of today industrial partners is done on the basis of the analysis of job descriptions and professional standards for a number of professions in engineering and materials science. All professional competences which are dictated by the present time must be reflected in the array of concrete disciplines and subjects. To achieve this, it is recommended to complement traditional teaching methods (lectures, laboratory work and practical's, homework and term papers) with new didactic tools: role-games, development and detailed analysis of case studies (technological, organizational, economic, environmental, etc.), demonstration of educational films and documentaries on production facilities operation, conducting trainings.

In accordance with the project Workplan the academic staff is taking part in 2-week trainings with a focus on 5-6 subject areas.

The trainings have already been conducted in KU Leuven (Belgium) and are scheduled for July in Krakow (Poland). On return from the training, the PSTU participants held seminars and delivered open lectures. A number of lectures on new courses were developed and given in the English language. Teachers will design and develop new training materials, which will include new approaches, methodologies and competencies acquired during the training.

Service office for Engineering Materials (Material Engineering service office - MESO) and IT-lab (MITL) are to be set up under MMATENG project. Their task is to transfer knowledge, expertise, scientific and methodological approaches and methods of teaching, implementation of R&D for businesses in the field of material science engineering, training of students and industrial specialists in the framework of in-service training. It is planned to purchase PCs for a computer class, metallographic microscopes, hardness meters and other laboratory equipment produced by leading West European countries.

Monitoring MMATENG project progress is carried out at regularly meetings of coordinators and Consortium members. These meetings were held in the cities of Antwerp (Belgium), Kiev (Ukraine), Tel Aviv (Israel) , Krakow (Poland) . Interesting and useful form of interaction between the partner universities are Skype conferences during which a number of project participants share the results of project work.

To sum it up, MMATENG project implementation will allow Ukrainian universities to reach a new, higher level of training of bachelors and masters in material engineering based on the competence approach and experience of the best achievements of the universities of Western Europe, Israel and Russia. Students enrolled in the corresponding degree programs will gain new knowledge, skills and competences and be able to expand their career prospects not only in Ukraine but in West-European countries as well.

## **SUCCESSFUL CO-OPERATION OF UNIVERSITY AND INDUSTRIAL ENTERPRISES IS IN REALIZATION OF AIMS OF PROJECT MMATENG FOR UPGRADING QUALITY OF TRAINING SPECIALISTS**

**Oleksandr Cheiliakh**

Professor, DSc (Engineering),

Vice-Rector of PSTU for Science and Pedagogics, Mariupol, Ukraine

The work of Pryazovskyi State Technical University (PSTU) in the direction of interaction between 3 interested sides in the knowledge triangle defined as university – students – enterprises-employers had been activated and carried out in direct accordance with modernization of higher education into Eastern European.

PSTU signed and successfully realized the direct agreements on “Strategic Partnership” with the largest industrial enterprises in Ukraine and Europe namely: Azovstal Iron & Steel Works PJSC, Illyich Iron & Steel Works PJSC of Mariupol, Azovmash PJSC and others connected with improvements in bachelors’ and masters’ training, scientific and cultural partnership. As the result, direct threelateral agreements were concluded between general secondary schools №14, №40, №5, PSTU and Azovstal Iron & Steel Works PJSC; between “Lingva-XXI century” private school, PSTU and “Azovimpeks” Civil Construction Company Ltd; “PORTINVEST” Company and PSTU etc. Totally more than 40 agreements were concluded, “Pryazovye” Educational–Scientific-Industrial Complex was set up under patronage of PSTU with participation of the large industrial enterprises and educational institutions of Pryazovskyi region of Ukraine.

The following innovation educational projects named “*Training of highly-qualified specialists to the enterprises demand*” (2 projects) & “*School – University – Enterprise* (3 projects), “*Waterway of success*” had been elaborated and successfully realized. It allowed to accumulate efforts of general education and high schools, enterprises and employers for modernization of the input of higher education into business, quality improvement of training of undergraduates, and socially-guaranteed career growth.

The projects include modernization and innovation of curricula of additional targeted training of engineering specialities include “Materials Engineering”, wide use of modern interactive and deductive teaching methods and students’ motivation. Among them are interactive and problem-oriented lectures, business games and simulation of non-standard situations, trainings, internships at the enterprises, seeking for placement at the positions of potential work within the period of holidays, acquiring practical skills and work experience, realizing of course and diploma projects, master papers on the essential problems of enterprises.

Center of Management of Working Resources had been also established at PSTU. It takes care of signing and implementation of the direct agreements in the knowledge triangle defined as university – students – enterprises (including general secondary schools), additional targeted training of students on innovation educational projects, holding jobs fairs, career days at the enterprises, training of future specialists on studying and mastering methods of doing business, ensuring their career growth, etc.

The outcomes of the projects under implementation have been reported and approved at the international conferences in Varna (Bulgaria, 2007, 2010), Riga (Latvia, 2008), Egypt (2009), international exhibitions. “*School – University – Enterprise*” Innovation Educational Project was introduced by *Metinvest Holding of the System capital management Corporation* as the most successful business case-study at the international forum on Development of Reliable Leadership in the countries of Central and Eastern Europe (Lviv, 2010) and was recommended for compiling the portfolio of case-studies for institutions of higher learning and business-schools of Ukraine and Europe.

In 2009 Business-incubator' had been established and is being successfully developed. Students, postgraduates and young teachers using the principles of student self-governance determine the details and methods of doing business.

Since 2011 PSTU is going to implement new curricula on business activation, investment-innovations programs, economy and economical production management, quality management, energy economy and resource saving into the core curriculum on all engineering and business degree programs.

Business relations had been established and agreements had been concluded with Mariupol Employment City Center aimed to ensure work placement for PSTU graduates, re-training, and internship for staff, creating the data base of vacancies.

PSTU has initiated the development of innovation educational business project called "Innovation educational projects on individual training of engineering staff to the enterprises demand" to be adopted in Donetsk region of Ukraine within the framework of realization Life-long Learning principle for 2011-2015.

In 2004 PSTU re-animated and successfully developed the movement of student volunteer labour brigades (VLB) to ensure work placement for 150-400 students at the enterprises during their holidays every year and to acquire professional and communicative skills and competence.

The system of getting additional useful specialities by students (including business competences) had been set up to enlarge business opportunities for graduates at the labour market, work placement and career growth at the enterprises and companies. Training students on 18 additional specialities relevant to the labour market is already being realized.

In 2011 PSTU is seted up the Career Center to centralize and develop working procedures for more effective cooperation with employers of small and big business, to create the data base on the vacancies and opportunities of the labour market.

So, PSTU successfully works towards modernization and enhancing of quality in higher education, expanding effective cooperation with economical and social partners, including prospective employers in accordance with the programme priorities TEMPUS "Development partnerships with enterprises", "Development of Lifelong learning and Society at large", project MMATENG.

## ПОЛИВАРИАНТНОСТЬ ИНДИВИДУАЛИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА MMATENG

**Чейлях А.П.<sup>1</sup>, Волошин В.С.<sup>2</sup>, Чейлях Я.А.<sup>3</sup>, Бойченко В.С.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>д.т.н., проф., проректор ПГТУ,

<sup>2</sup>д.т.н., проф., ректор ПГТУ,

<sup>3</sup>к.т.н., вед. спец. ПАО «ММК им. Ильича»,

<sup>4</sup>директор по персоналу и социальным вопросам ПАО «ММК им. Ильича»

Современное развитие общества и интеграция высшей школы Украины в общеевропейское образовательное-научное пространство потребовало повышения качества подготовки специалистов с высшим образованием, динамичного учета и максимального удовлетворения быстроменяющихся и все возрастающих потребностей производства и рынка труда.

Кардинальным решением этих проблем является интеграция усилий обучающего, обучаемого и работодателя, как основных субъектов процесса формирования молодого специалиста. При этом в последнее время кроме традиционных критериев качества подготовки специалистов, таких как знания и умения, особенно важное значение приобрели навыки и компетенции.

Такой подход, где требования к знаниям, умениям и компетенциям выпускников, а также независимая оценка качества их подготовки, осуществляется работодателем или специальными органами и организациями, объединяющими таковых, существует во многих европейских странах.

В области инженерного материаловедения на решение этих актуальных задач направлен международный образовательный проект Европейского Союза ТУМПУС "MMATENG", в основе которого заложены принципы компетентного подхода и лучшего опыта Болонского процесса. Важнейшей компонентой проекта является эффективное взаимодействие ВУЗов с работодателями, прежде всего с промышленными предприятиями.

Взаимодействие ВУЗов с предприятиями в образовательной сфере эффективно реализуется через создание эффективной системы и выполнение инновационных образовательных проектов. В Приазовском государственном техническом университете (ПГТУ) разработаны совместно с ведущими металлургическими предприятиями группы МЕТИНВЕСТ, группы «Портинвест», органами местного самоуправления за последние 8 лет следующие инновационные проекты:

1. «Илличевска перспектива» - подготовка высококвалифицированных специалистов по заказу ПАТ «ММК имени Ильича».
2. «Подготовка высококвалифицированных специалистов по заказу ПАТ «МК «АЗОВСТАЛЬ»».
3. «Школа – ВУЗ – комбинат» (учебно-воспитательный комплекс «Лицей-школа № 14» - ПГТУ - ПАТ «МК «АЗОВСТАЛЬ»»).
4. «Школа – ВУЗ – комбинат» (специализированная общеобразовательная школа № 40 им. Е. - ПГТУ - ПАТ «МК «АЗОВСТАЛЬ»»).
5. «Школа – ВУЗ – комбинат» (ОШ № 5 - ПГТУ - ПАТ «МК «АЗОВСТАЛЬ»»).
6. «Фарватер успеха» - подготовка высококвалифицированных специалистов по заказу ООО «ПОРТИНВЕСТ».
7. «Подготовка выпускников технического университета в сфере организации малого бизнеса» (ПГТУ совместно с исполкомом Мариупольского городского Совета).

*Миссией системы поливариантности образования* является качественное изменение подходов к подготовке специалистов с высшим образованием, получение уникального комплекса знаний, умений и профессиональных компетенций от рабочих профессий до смежной инженерии, сочетающих разные профессиональные направления и специальности.

***Основными задачами проектов являются следующие:***

- ориентация на текущие и перспективные возрастающие требования к компетенциям и эффективности труда молодых специалистов в области инженерии;
- изучение потребностей рынка труда в инженерных кадрах с целью заполнения их молодыми специалистами, обладающими уникальными компетенциями;
- разработка траекторий возможных комбинаций образовательных направлений, квалификаций и специальностей для совмещенного обучения студентов инженерных специальностей;
- организация параллельного обучения студентов по смежным многовекторным траекториям.

***Суть и содержание системы «Поливариантности индивидуализации и актуализации инженерного образования».***

Реализация созданной в ПГТУ системы, включающей инновационные образовательные проекты осуществляется путем формирования индивидуальных условий студентам начиная со школьной скамьи, а затем с 1 курса в получении профессионально-образовательных знаний, умений и компетенций по нескольким (2-3-м и более) образовательным направлениям и квалификациям (рис. 1).

При этом студент при помощи кафедры выбирает и строит собственную траекторию возможных сочетания разных образовательных направлений, специальностей, специализаций и квалификаций дающих способности к индивидуальному образованию. Такая поливариантность значительно расширяет интеллектуальный, образовательный и профессиональный кругозор будущего специалиста экстра-класса, дает ему очень широкие возможности в профессиональной самореализации и построении карьеры с учетом требований работодателя.

Университет совместно с дирекциями и управлениями персоналом предприятий осуществляет мониторинг трудоустройства и карьерного роста выпускников, реализуются разнообразные формы повышения их квалификации (второе образование, система тренингов по ключевым показателям и направлениям и т.д.) (см. рис. 1). Выгода университета заключается в максимальном использовании своих образовательных возможностей, дифференцированной загрузкой научно-педагогического состава (и дополнительной оплатой их труда).



Рис. 1. Схема основных направлений инновационных образовательных проектов

В университете разработан следующий **перечень дополнительных образовательных программ разных уровней подготовки:**

- Инновационные образовательные проекты:
  - «Подготовка высококвалифицированных специалистов по заказам предприятий»;
  - «Целевая подготовка выпускников технических университетов в сфере организации малого бизнеса»;
  - «Школа-ВУЗ-комбинат»;
- Дополнительное бизнес-образование через «Мариупольскую школу бизнеса»;
- Углубленное обучение иностранным языкам через «Центр языковой подготовки»;
- Подготовка водителей автомобилей через «Учебный центр подготовки водителей»;
- Обучение рабочим профессиям (всего 27 профессий в колледжах и кафедрах);
- дополнительные курсы обучения:
  - навыкам электронной коммерции;
  - этике и этикету делового общения;
  - интенсификации принятия решений (на основе «Модерн- ТРИЗ»);
  - навыкам управления человеческими ресурсами;
  - секретам умелого руководителя;
  - ораторскому искусству;
  - искусству быть собой;
  - секретам умелого руководителя;
  - управлению конфликтами и временем; и др.

Модель поливариантности индивидуализации и актуализации образования в ПГТУ приведена на рис. 2.

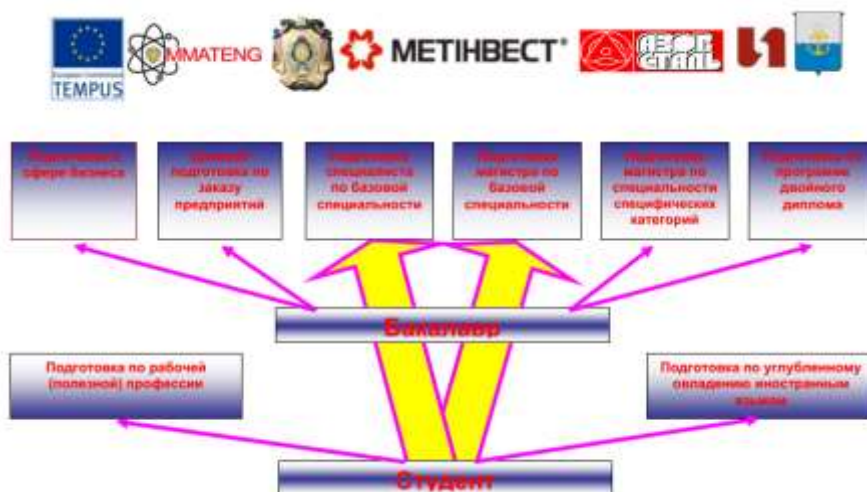


Рис. 2. Модель поливариантности системы индивидуализации образования в ПГУ

**Основные принципы и способы организации учебно-воспитательного процесса:**

1. Совмещенный, параллельно-последовательный характер обучения по разным учебным планам разнопрофильных образовательных направлений, специальностей и рабочих профессий в соответствии с выбранной траекторией обучения.
2. Система возможных комбинаций и траекторий получения образования. Определение перечня родственных специальностей, по которым возможно получение диплома магистра на базе основного диплома бакалавра.
3. Унификация, интеграция и согласованность индивидуальных и рабочих учебных планов для облегчения конструирования траекторий обучения.
4. Самостоятельное «конструирование» и планирование траектории образования, подкрепленное индивидуальным планом обучения, которая заинтересовывает студента.
5. Сочетание очной, заочной и дистанционной формы обучения по разным рабочим и индивидуальным планам разнопрофильных направлений и специальностей.

**Стажировка преподавателей ГВУЗ «ПГУ» в структурных подразделениях ведущих промышленных предприятий.**

Новым научно-методически обоснованным шагом корпоративной работы ВУЗов и промышленных предприятий (в частности металлургических комбинатов г. Мариуполя группы METINVEST), является повышение квалификации в форме стажировки ведущих, молодых и перспективных преподавателей, в производственных цехах, управлениях и отделах ВАТ «МК «Азовсталь» и ВАТ «ММК им. Ильича» без отрыва от учебного процесса, по совместительству с учебным процессом. На определенный срок стажировки (1-2 месяца) преподаватели-стажеры становятся непосредственными участниками производственных процессов ведущих предприятий, глубоко изучают все аспекты и нюансы технологических процессов и организации производства по своей и смежным специальностям, эксплуатации оборудования, предотвращения брака и повышения качества выпускаемой продукции, решения энергосберегающих и экологических проблем, здравоохранения и труда работников. Они получают неоценимый багаж практических знаний, навыков и компетенции, который затем воплощается при разработке новых

и совершенствовании применяемых учебных планов и программ, проведении занятий, со студентами. Это позволяет им скорректировать учебные программы и максимально адаптировать учебный процесс к все возрастающим и динамично изменяющимся потребностям современного производства и рынка труда, требованиям профессиональных стандартов и паспортов профессий, составленных на их основе.

По заказу ПГТУ специалистами ведущих предприятий группы МЕТИНВЕСТ (ПАО «МК «Азовсталь» и ПАО «ММК им. Ильича») созданы видеофильмы об основных производственных процессах в реальном времени деятельности подразделений, которые стали неоценимым методическим максимально информативным материалом для использования преподавателями на учебных занятиях со студентами. Этот процесс непрерывно расширяется и совершенствуется, дополняется новыми видеоматериалами, использование которых способствует повышению качества подготовки бакалавров и магистров на основе профессиональных компетенций.

#### ***Модель специалиста с поливариантным образованием.***

Успешный выпускник ПГТУ, который за 5-5,5 лет обучения (для получения полного высшего образования) кроме двух обязательных дипломов (бакалавра, специалиста или магистра) по одной специальности дополнительно получает следующие образовательные документы:

- диплом магистра по специальности иного профиля;
- диплом магистра одного из европейских университетов;
- свидетельство о получении рабочей профессии по избранной или совершенно другой профессии;
- сертификат о получении дополнительной целевой подготовки по заказу предприятия в проектах «школа-ВУЗ-комбинат», «Ильичевская перспектива», «Фарватер успеха», «Подготовка выпускников технических специальностей в сфере организации малого и среднего бизнеса» и др.;

Фактические дополнительно получаемые студентами перспективные возможности карьерного роста:

- углубленные основные и дополнительные знания, умения, практические навыки и профессиональные компетенции по разнопрофильным специальностям и специализациям, подтвержденные соответствующими образовательными документами;
- навыки социальной коммуникации, успешности, потребность самообразованию и самосовершенствованию, повышению квалификации и переквалификации, целеустремленность и амбициозность, способность наводить, развивать и выгодно использовать личные контакты и навыки корпоративности;
- опыт и навыки работы в команде, общественной работы, научной деятельности, культурно-коммуникативного развития, активной жизненной и социальной позиции.

#### ***Преимущества системы поливариантности индивидуализации образования:***

1. Возможность получения образования и дипломов в разных образовательно-квалифицированных направлениях (например бакалавр – металлург, механик или сварщик, энергетик и магистр управления инновационными проектами, консолидированной информации или социальной информатики и т.д.). Т.е. сочетание совершенно разнопрофильных уровней высшего образования (базового и полного), подтвержденное государственными дипломами (рис. 3).
2. Получение прочных знаний, умений и практических навыков по двум-трем специальностям и специализациям, что позволит получить хорошую работу и успешно двигаться по карьерной лестнице.

3. Получение как трех государственных дипломов (бакалавра, и двух дипломов магистра или специалиста) или двух дипломов, плюс сертификата целевой дополнительной подготовки по заказу предприятия, а также удостоверение о рабочей профессии по избранной или другой профессии (см. рис. 3).
4. Повышенная интенсивность учебно-воспитательного процесса: за 5 лет – 5,5 лет достигается результат, который в обычных условиях последовательного обучения возможен лишь за 6,5-8 лет.
5. У выпускников, обучающихся по системе поливариантного образования формируются дополнительные полезные качества – коммуникабельность, способность и потребность в самообразовании и профессиональном самосовершенствовании, стремлении к инновациям, амбициозности, целеустремленности и другие, которые способствуют ускорению карьерного роста.
6. Возможность получения второго диплома Европейского университета по «Программе двойных дипломов» (см. рис. 3).
7. Дополнительная целевая подготовка в сфере организации малого бизнеса».
8. Углубленная языковая подготовка по основному иностранному или второму-третьему иностранным языкам.



Рис. 3. Возможности получения документов об образовании в поливариантной системе образования ПГТУ.

Реализация инновационных образовательных проектов с работодателями решает задачи реализации общегосударственных программ по трудоустройству выпускников Вузов, предоставления первого рабочего места, обеспечения их успешного труда и карьерного роста.

## УПРАВЛІННЯ СТРУКТУРОЮ ТА ВЛАСТИВОСТЯМИ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ ЗА РАХУНОК ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

**Чейлях О.П.<sup>1</sup>, Караваєва Н.Є.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>д.т.н., проф., ПДТУ, Маріуполь, Україна. (cheilyakh\_o\_p@pstu.edu)

<sup>2</sup>ПДТУ, Маріуполь, Україна, (NatkaKaravaeva@yandex.ua)

Одним з найважливіших завдань сучасного розвитку машинобудування є підвищення якості, надійності і довговічності деталей і вузлів різних машин і механізмів. Ефективне вирішення цієї актуальної проблеми можливе за рахунок створення можливостей комплексного впливу об'ємними і поверхневими методами формування та зміни складу, фазово-структурного стану та метастабільності структури сталевих виробів для комплексного зміцнення та підвищення комплексу властивостей.

Для очищення дрібних виливків широко застосовують дробеметні апарати періодичної дії. Працездатність цих машин визначається в основному зносостійкістю робочих органів, які відчують інтенсивний ударно-абразивний знос.

Метою даної роботи є вивчення можливості підвищення властивостей сталі 20ГЛ шляхом поверхневого зміцнення.

Зразки сталі 20ГЛ розміром 10x10x25 мм піддавалися цементації у твердому карбюризаторі з витримкою 10 годин при температурі 930 °С, гарті в масло від різних температур в інтервалі 800 – 1150 °С і низькому відпуску при 200 °С.

Після гарту з температури 780 °С, рекомендованої довідковою літературою, поверхневий шар складається з високовуглецевого мартенситу з дрібними частинками карбідів і невеликої кількості залишкового аустеніту ( $A_{\text{зал}}$ ). По мірі підвищення температури нагріву під гарт до 980 °С кількість залишкового аустеніту в поверхневому шарі зростає, а кількість мартенситу і карбідів зменшується.

Після гарту з температури 1080 °С мікроструктура біля поверхні являє собою дрібнодисперсний мартенсит, залишковий аустеніт і карбіди. Підвищення кількості аустеніту призводить до зниження рівня твердості (з 60 до 43 HRC).

Найбільш високі показники відносної зносостійкості, при випробуваннях на ударно-абразивне зношування, отримані на зразках після гарту при 1080 °С і відпуску при 200 °С. Це пояснюється отриманням найбільш дисперсної суміші мартенситу гарту, цементиту і метастабільного  $A_{\text{зал}}$ . Рентгеноструктурний фазовий аналіз цих зразків показав, що приріст кількості мартенситу деформації при цьому досягає  $\approx 40\%$ . Співвідношення інтенсивностей рентгєнівських ліній аустеніту ( $\gamma$ -фази) і мартенситу ( $\alpha$ -фази) при зношуванні змінюється на користь мартенситу.

При дослідженні зношеної поверхні зразків за допомогою скануючого 3D мікроскопа Digital microscope VHX-1000, отриманий рельєф поверхні підтверджує зміни відносної зносостійкості. Відстань між максимумом і мінімумом по глибині зношеної поверхні при ударно-абразивному зношуванні зразків найбільша після гарту з температури 780 °С і становить 121,4 мкм, а найменше - після гарту з температури 1080 °С - 61,7 мкм (рис. 1). Це свідчить про більш диференційованій вибірковості зносу структури з підвищеною кількістю  $A_{\text{зал}}$ , ніж мартенситно-карбідно-аустенітної структури.

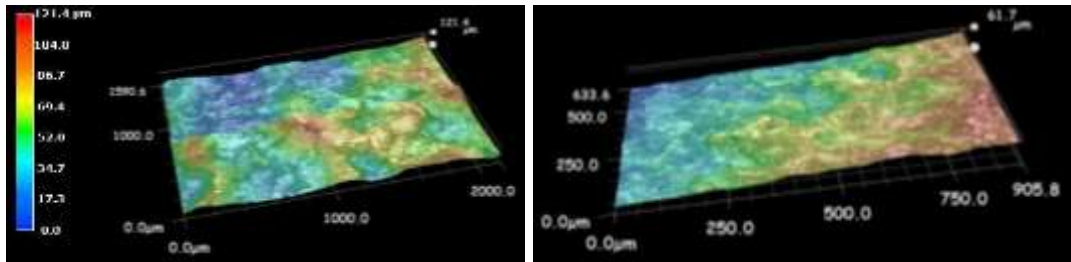


Рис. 1 - Поверхня зразків з цементованої сталі 20ГЛ після випробувань на ударно-абразивне зношування. Гарт з температур: а) 780 °С; б) 1080 °С (відпуск 200 °С).

Проведено виробничі випробування лопатей дробометних установок, термооброблених за новою технологією в умовах ПАТ «Азовмаш». Аналіз зношених лопатей показав, що лопаті, термооброблені по новому режиму мають термін служби до 90-96 год, що в 3-4 рази більше, ніж термін служби лопатей, що застосовуються на виробництві.

## **DEVELOPMENT OF NEW DISCIPLINES WITH THE AIM OF IMPROVING THE PROFESSIONAL COMPETENCE OF STUDENTS**

**Karavaieva N.E.**

PSTU, Mariupol, Ukraine, (NatkaKaravaeva@yandex.ua)

Nowadays competent professionals (“the yuppies”), capable of quick adapting to new dynamic social and economic conditions are becoming increasingly popular. Employers are getting increasingly interested not so much in the qualification of their employees but in their competence, ability to work in a group, initiative, ability to cope with various life and professional situations. Competence approach and its demands to other components of the educational process - the content, methods, teaching techniques, the organization of the pedagogical process. In the context of modular competency approach within a single module is integrated development of skills and knowledge through the formation of specific competences, which provides the performance of a specific job description that reflects the requirements of the labor market.

When studying the content of the discipline it is necessary to demonstrate application of the acquired knowledge to perform certain practical actions to address the problems arising in the process of studying other disciplines of general and vocational modules, as well as the problems that may arise in the professional activity

Computer tools are crated at present to conduct training courses.

The growing interest in computer training is attributed to the emergence of multimedia technology, as well as the development of means of communication, the Internet. Multimedia learning more and more firmly part of our lives. More and more people learn the power of the Internet for their personal purposes.

For delivering lectures application of electronic presentation of Microsoft PowerPoint format, consisting of a set of slides seem to be convenient. The basis of these lectures is a set of electronic slides that is transmitted onto the screen as graphical information. Students are interested in colorful visual images, they learn the material faster and better remember the content. In presenting the material with the help of electronic presentation during lectures and workshops is effectively used. The teacher does not have to represent the solution to a problem on the blackboard, because the whole sequence of decisions can be placed on separate slides. Also this method is useful in explaining the engineering process. You can demonstrate to students the process heating, mechanical processing, or the structure of the metal. The cooperation with enterprises and an opportunity to show students in on-line operation of individual departments (eg, steel, cast iron, rolling production, the implementation of the thermal treatment, etc.) seems to be very promising. In addition, the slides can be replaced by posters with the image of the table with enough volumetric image information for defense of the graduation projects. Using a computer in the classroom greatly facilitates the work of the teacher, saving much time. Unlike traditional types of visual aids, electronic presentations can be used not only in the process of delivering lectures, but also to offer students electronic media, which can be installed on a dedicated server for the institution of free access to students.

### List of references

1. Ройтман И.А. Методика преподавания черчения. М.: Владос, 2000.
2. Выготский Л.С. Педагогическая психология / Л.С. Выготский. - М.: Педагогика-пресс, 1996. - 98с.
3. Возрастные и индивидуальные особенности образного мышления учащихся / Под ред. И.С. Якиманской. - М.: Педагогика, 1989.- с.142.
4. Давыдов В.В. Проблемы развивающего обучения - М., 2004.

5. Якиманская И.С. Личностно-ориентированное образование в современной школе. – М., 2000
6. Зинченко В.П. Психологические основы педагогики (Психолого-педагогические основы построения системы развив.обучения Д.Б.Эльконина – В.В.Давыдова): Учеб. пособие для студентов вузов. –М.: Гардарики, 2002.
7. Занков Л. В. Избранные педагогические труды. — М., 1990.
8. Талызина Н. Ф. Педагогическая психология: учебник для студентов средних педагогических учебных заведений. М.: Академия, 2001
9. Решетова З. А. Формирование системного мышления в обучении. М.: Юнити-Дана, 2002.

## FEATURES OF TEACHING OF MATERIALS SCIENCE AT THE TECHNICAL UNIVERSITY OF MARIUPOL

**Ryabikina M.A.**

Ph.D., Docent PSTU, Mariupol, Ukraine, (maryna.ryabikina@mail.ru)

The material sciences and engineering program aims to study the relationships between the chemical compositions, structure and properties of a materials and how it is made.

Pryazovskyi State Technical University (PSTU) is a Partner of the Catholic University of Leuven (Belgium) under the Tempus project MMATENG (Modernization of two cycles (MA, BA) of competence based curricula in **Material Engineering** according to the best experience of Bologna Process). The name of discipline at the department Metallurgy and Materials Engineering at KU Leuven is “Basics of material science incl. fatigue behavior”. Students (BA) learn the discipline in the 3rd semester (3 credits ECTS, 42 contact hours and 32 individual hours). The aim of the course unit is to give students knowledge about:

- the different classes of materials (metals, polymers, ceramics and composites);
- their principle properties;
- the way in which the material composition and microstructure affects these properties.

To manage this information, the engineer must have insight in the relationship between the composition, microstructure of a materials and their mechanical properties, including fatigue.

- Stress, strain, stiffness;
- Elastic behavior, plastic behavior;
- Test methods for time independent behavior: tensile test, compression test, bending test, hardness;
- Failure of materials;
- Time dependent mechanical behavior including fatigue behavior.

At the department of Metal Science and Heat Treatment of Metals (PSTU), students study the Material Science in the 4th semester. The volume of the discipline - 6 credits (1 credit - 36 hours), 102 contact hours and 114 hours – the individual work of students, oral exam. The main themes of discipline are

- Chemical bonding, crystal structure, amorphous structure;
  - Lattice defects (point defects, dislocations, grain boundaries);
  - Study of the microstructure (samples preparation, microscopy);
  - Thermodynamics, Gibbs phase rule, the binary system, the eutectic;
  - The phase diagram of Fe-C (steel, cast iron);
  - Phase transformations, the basics of heat treatment (quenching);
- surface phenomena and reactions;
- The mechanical properties (elastic and plastic deformation, tensile testing, hardness, fatigue behavior, destruction);
  - Light metals;
  - Polymers, glass and ceramics;
  - Composites: dispersed, fibrous;

Laboratory experience is an important part of the program and emphasizes micro-structural characterization using optical and electron microscopy and x-ray diffraction, materials processing, determination of the physical and mechanical behavior of materials.

Due to the characteristics of the region - the presence in Mariupol of 2 steel giants “Azovstal Iron and Steel Works”, “Ilyich Iron and Steel Works” and manufacturing machine complex “Azovmash” we focus on the study of metals. Graduates of the department subsequently become employees of these enterprises. In addition to Materials Science bachelor study Metallography – 4 ECTS (total – 144 hours), 72 contact hours and 72 hours – the individual work of students, exam is

International Scientific-Methodological Conference «How to teach material sciences:  
new approaches and experiences from the MMATENG project»

---

in 5<sup>th</sup> semester and Mechanical properties and structural strength of materials – 5,5 ECTS, 68 contact hours and 132 hours – the individual work of students, exam is in 6<sup>th</sup> semester.

Our students beginning to study the structure of metallic and non-metallic materials, and then the mechanical properties of materials and test methods

It was very interesting for me to get acquainted with the methodology and logic of lectures Dr. Jan Ivens, ing. Chris Peeters “Basics of material science (BA)”, KU Leuven. Topics, which aroused the greatest interest:

- Introduction of the mechanical behavior of materials;
- Static behavior of metals, ceramics and polymers;
- Industrial materials testing;
- Ductile fracture.

I am looking forward with confidence. And I don't doubt about the success of the Tempus project MMATENG and its usefulness in teaching students at the department of Metal Science and Heat Treatment of Metals of Priasovskiy State Technical University.

## **CAPABILITIES OF «CES EDUPACK 2014» SOFTWARE IN TEACHING OF STUDENTS IN «MATERIALS ENGINEERING»**

**Efremenko V.G.**

D.Sc., Prof. PSTU, Mariupol, Ukraine, (vgefremenko@mail.ru)

«CES Edupack 2014» software is a product of company «Granta Design». This software appeared in the universities of Ukraine due to the implementation of the international project MMATENG for reform of curriculum in Materials Engineering. Starting from 2015, this software began to apply in four Ukrainian Universities (Priazovskyi State Technical University, NTU «KPI NTU», NTU «Lviv Polytechnics», Lutsk NTU) in the educational process of training students in «Materials Engineering». It is an informational and computation basis of the new subject «Selection of Materials», introduced into the adjusted curricula. It should be noted that the CES Edupack developed on the basement of fundamental works and with personal participation of Cambridge University Professor Michael Ashby which is world known in the field of Materials Science. It underlines the high scientific and methodological level of CES Edupack software product.

Besides to direct use in the curricula's discipline «Selection of Materials», CES Edupack gives ample opportunities for training of engineers in the field of Materials Science. The structure of this software environment is a complex database on materials, technologies for their production and processing, as well as the environmental consequences of their use. Each of these databases can be successfully applied as a reference in teaching and learning (students) of various specialized disciplines in Materials Science, connected with features and properties of special steels and alloys, non-metallic materials, ceramics, composites etc.

CES Edupack's database includes 3921 materials, divided into four groups: Ceramics and Glasses, Metals and Alloys, Polymers, Hybrids (Composites, Foams, Honeycombs, Natural Materials) (Fig. 1). Each of these groups is represented by several subgroups with deeper dividing of materials' base, by alloying system, by the content of various additives, etc. For individual materials the comprehensive information on their chemical composition, properties (physical, mechanical, thermal, electrical, optical, magnetic, durable (specific for each material)) are provided. This allows to apply CES Edupack as a convenient electronic directory for the various types of training activities, including term and theses projection. Referring to these database will help to broaden teachers and students' understanding of on available materials, their properties and fields of use. Above mentioned data allow students to get an overview of the world of materials and their role in modern life.

It is important to highlight, that among the above information, we can find the average cost of the materials, which makes it possible to compare the cost-effectiveness of the usage of different materials having similar properties. It is notable, that the information about labeling similar materials presented in various national and international standards is included in CES Edupack. This information may be useful for specialists in the field of standardization, working at metallurgical and engineering enterprises.

The modern engineer has to be an ecologically minded person. An important feature of the training of engineers in world-leading universities is increasing attention to the coverage of the environmental consequences of producing, exploitation and processing of various materials. In databases CES Edupack the summarized information regarding the average specific embodied (in production) energy and on the amount of energy greenhouse gases emitted and water consumed is presented. Also the possibility of recycling and life cycle of a material are analyzed in databases. This information allows Ukrainian teachers actively implement environmental components in teaching of various disciplines of Materials Science.

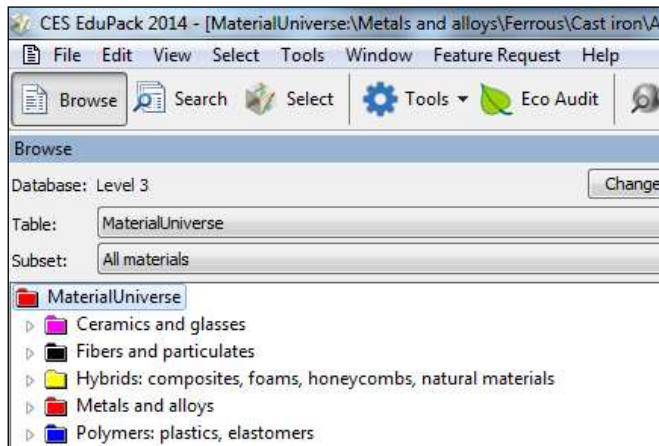


Fig. 1. Starting window for selecting the base group of material among “Material Universe”

For each of the types of materials CES Edupack provides background information on the various types of testing methods for definitions of specific properties (including performance characteristics). It is given in the form of separate articles (windows) with a comprehensive graphic and text materials, which can be widely used in the independent work of students with the disciplines such as, for example, «Mechanical Properties» and «Physical properties».

It is noteworthy that CES Edupack proposes the complexes comprehensive information about technologies for production and processing of various materials. All the processes are divided into three groups: «Joining Processes» (59 titles of processes), «Shaping Processes» (138 titles), «Surface Treatment» (53 titles) – totally - 250 items of technology processes. For example, the directory “Surface Treatment” is divided into four subdivisions: “Heat treatment and ion implantation”, “Painting and printing”, “Polishing / etching / working / texturing” and “Surface coatings”. The last one is presented by several technologies such as: “Chemical conversion coatings”, “Cladding”, “Plating and metal coating”, “Polymer powder coating”, “Thermal spraying” and “Vapor processes”. Some of these technologies are presented more comprehensive by subtechnologies like (in later case) “CVD process”, “PVD plating”, “PVD sputtering”. All this information can be used in teaching of «Materials Technologies», «Technology of Heat Treatment, Chemical Heat Treatment, and Thermo-Mechanical Treatment of Metals and Alloys», «Perspective Strengthened Technologies of Materials Treatment» and so on. As well as it can be applied in the performance of course and diploma projection. These data are of interest for industrial engineers and can be used during training sessions.

For each of the technologies high quality graphic images of the process are given (Fig.2); the data about its purpose, process parameters, physical parameters of the finished product (surface), economic indicators (process time, the cost of using equipment and tools, work intensity) are provided.

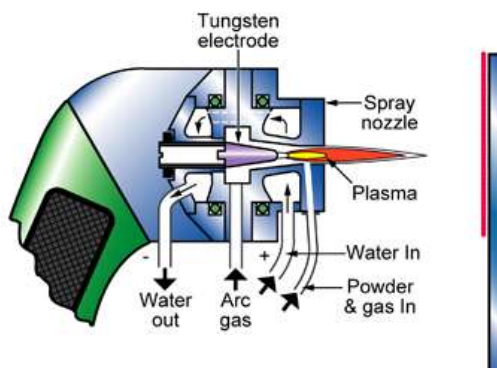


Fig. 2. Schematic drawing of plasma-arc spraying process

Another area of CES Edupack application in the teaching process is scientific and research work of students. CES Edupack's data can be used as the basis for the selection of materials, for the optimization of their chemical composition and structure, for proper selection of parameters of various technologies of their processing. For example, we need to select abrasive wear resistant alloy for high temperature application. For preliminary evaluation the database "Cast irons" can be used. In this database we can find the information of seven high-chromium cast irons with Cr content varying from 11 wt% till 28wt% which covers the most important range of these alloys. For each of cast irons the information about maximum service temperature is presented in supplementary table. Using this data we can build the chart "Chromium content – maximal service temperature" shown in Fig.3. This Figure will help to solve the task of proper selecting of cast irons' chemical composition.

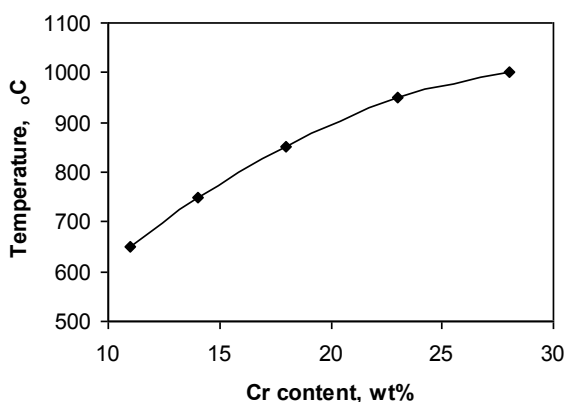


Fig. 3. The effect of Cr content on maximal service temperature of high-Cr cast irons (based on "Metals and Alloys" database)

The same procedure can be done, for example, for the selecting of cast irons having higher corrosive resistance in strong alkalis. For this purpose we can use the data concerning high-Cr cast irons, low- alloyed cast irons and Cr-Ni cast irons. The evaluation of values attributed for different alloys let us to resume that the best choice is Cr-Ni cast irons alloyed by 8-10 wt% Cr and 4.5-6.5 wt% Ni.

The examples and features mentioned above don't limit the capabilities of CES Edupack 2014 which can be used for mastering of Material Science related disciplines. That is why teachers should extensively explore this software in purpose to increase its outcome for higher teaching standarts.

## ON THE POSSIBILITY OF USING OF DIFFERENT ROLLED SHEET STEEL FOR MANUFACTURE OF RAILWAY TANKCARS-CONTAINERS

**Gavrilova V.G.<sup>1</sup>, Gogol A.B.<sup>2</sup>, Rusetsky V.A.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Ph.D., Docent PSTU, Mariupol, Ukraine, (victoriya1961@mail.ru)

<sup>2</sup>Chief of stamping laboratory NIOMET «Azovzagalmash» forge, Mariupol, Ukraine

<sup>3</sup>Ph.D., Docent PSTU, Mariupol, Ukraine

To create recommendations to improve the metal quality for the manufacture of railway tankcars-containers in this article an investigation of samples of different groups of steel was performed, such as groups made by standards E36, EN 10025-3,4 S460ML and 9MnSi5-14, made in accordance with GOST 5520-79, chemical composition of which varies like melted by GOST 19281-91, but their structure is composed additionally of vanadium and niobium (Table 1).

The main problem in the manufacture of tank-containers is that these constructions are made by welding the body with bottoms, made by hot stamping. During heating for stamping the steel impact elasticity and fluidity are reduced significantly, that leads to crack formation. Moreover, after tank-containers parts welding the material is in a tense state. So, it is necessary to select the optimal way of heat treatment, which will minimize the disadvantages of the preliminary thermo-mechanical processing.

The expediency of research was justified by the comparative testing of the sheet steel sheet, manufactured by thermomechanical and normalizing rolling in order to determine the possibility of their application for the production of tank-containers.

Initial state of rolling envisages the delivery condition, that is after thermomechanical (controlled) or after normalizing rolling, depending on the technology of sheet metal manufacture of companies-suppliers. Figure 1 shows the modes of controlled (a) and normalizing (b) rolling.

The expediency of research is substantiated by comparative tests of steel, sheets manufactured by thermomechanical and normalizing rolling methods, made in accordance with the standards E36, EN 10025-4 S460ML, 9MnSi5 with the objective of determining the opportunity for their use for manufacturing parts of Railway cars.

The study of macro, microstructure and mechanical properties of high strength shipbuilding steel E36 after various modes of heating in the range 920-980 °C showed high values of strength properties and unsatisfactory results of values of impact energy at temperatures below 930 °C due to significant banding structure, while at higher temperatures - due to rapid growth of grains. Thus, the use of such rolled steel for stamping railway tanks bottoms at temperatures 950-980 °C is not advisable.

In tests of steel samples, made in accordance with the EN10025-4 S460 ML standard, it was determined that by their heating to stamping temperature (normalization) impact resilience is reduced, therefore, the use of such steel for containers, working under pressure, is not recommended, either.

Comparison of mechanical properties of steel 9MnSi5 of different heats showed that after the initial thermomechanical rolling the mechanical properties of this steel did not meet the requirements of GOST 19281-91 and customer's requirements, according to which, the amount of impact energy must be not less than 27 J across rolled steel and 41 J along the rolled steel. Heating for stamping after thermomechanical rolling also does not provide the desired results. Optimal toughness values obtained after normalizing rolling and heat heating for stamping of heat samples into which additional microadditives of vanadium and niobium were introduced.

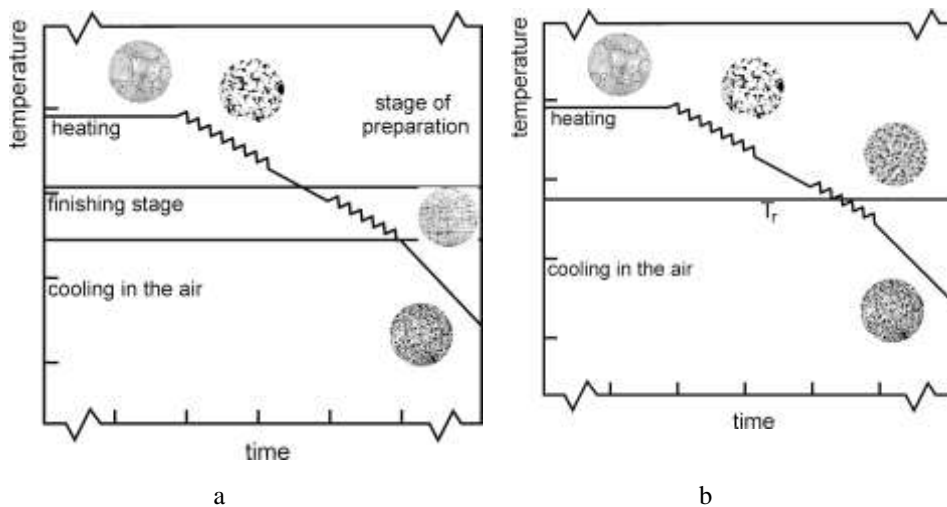


Fig. 1. Schemes of the modes of investigated steels thermomechanical treatment: a- thermo-mechanical (controlled) rolling:  $t_{b,r.}=1150-1220\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{f,r.}=Ac_3-Ac_1$ ; b- normalizing rolling:  $t_{b,r.}=900-950\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{f,r.}=Ac_3-Ac_1$

Table 1- The chemical composition of the investigated steels and their check for compliance with the requirements of GOST 19281-91 (GOST 5520-79)

Type of steel	The content of alloying elements, % of weight												
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Al	Ti	Nb	V	Ca
Requirements of GOST 19281-91	$\leq 0,12$	1,3-1,7	0,5-0,8	0,040	0,035	0,30	0,30	0,30	0,05	0,03	-	-	-
9MnSi5	0,11	1,51	0,52	0,023	0,015	0,06	0,07	0,09	0,012	0,011	-	-	-
9MnSi5-14	0,10	1,58	0,69	0,009	0,018	0,04	0,02	0,04	0,031	0,025	0,05	0,05	0,0015
S460ML	0,18	1,70	0,60	0,020	0,025	0,30	0,80	0,55	-	0,05	0,05	0,12	-
E36	0,18	1,50	0,3	0,007	0,016	0,08	0,04	0,03	0,036	-	0,025	0,04	-

At manufacturing of bottoms of tank cars by hot stamping the stamping, temperature must be within the range of 930-950 °C. In case of temperature excess above it there is the yield strength reduction up to 360 MPa and a tensile strength reduction up to 520 MPa.

Tempering of steel 9MnSi5 after heating for stamping at temperature 580-620 °C slightly reduces the strength characteristics, but they remain high enough and meet the requirements of the standard. At the same time, impact work after tank cars launching is increased by 3-6 J. To remove

the common tension in the metal of car's boiler tempering at 580-600 °C is required. The results can be applied for developing the technology of thermal strengthening of boilers or containers of railway tank cars. Increasing of the mechanical properties of steels used in the manufacture of these constructions will reduce the thickness of the sheet for the manufacture of shells from 22 to 18 mm and the bottom of the boiler from 18 to 16,8-16 mm, reduce the overall weight of the container without reducing cargo capacity, and reduce the consumption of the metal.

List of references

1. Влияние параметров контролируемой прокатки толстых листов на показатели ударной вязкости стали 10Г2ФБ/ В.П. Горбатенко, Н.И. Косаревич, В.М. Дорохин, В.В. Бурховецкий, В.В. Климанчук, Э.Н. Шебаниц, А.В. Мурашкин // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. - 2004.- №5.- С. 64-68.
2. Железнодорожные вагоны [Электронный ресурс]: – Режим доступа: [http://www.vagoni-jd.ru/razdel\\_04.2.5%20cs.php](http://www.vagoni-jd.ru/razdel_04.2.5%20cs.php)
3. Пемов И.Ф. Разработка экономнолегированной строительной стали класса прочности 345 и 390/ И.Ф. Пемов, Ю.Д. Морозов, А.А. Науменко, Д.В. Нижельский // *Современная техника и технологии*. – Ноябрь 2011. - № 3 [Электронный ресурс].



## ANALYSIS OF THE ENERGY ABSORBING PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS USED IN TRANSPORT

**Gavrilova V.G.<sup>1</sup>, Karavaieva N.E.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Ph.D., Docent PSTU, Mariupol, Ukraine, (victoriya1961@mail.ru)

<sup>2</sup>Eng., PSTU, Mariupol, Ukraine, (natkakaravaeva@yandex.ua)

One of the most important properties of composite materials used in structural elements of automotive and wagon building, is the ability to dissipate energy impact in a collision, while lowering risk of injury to passengers.

Metal structural and traditional plating does not provide the ability of performing this task. Composite materials capable of absorbing large amounts of energy during impact and minimally deformed, while, in the amount of force it is constant during their destruction or has small fluctuations. In structural materials there is no elastic deformation phase, like metals and main processes determining the absence of elastic deformation are cracking, fiber tear, destruction of matrix detachment from the matrix of reinforcing fibers and bundles. Thus, the macro- and microstructure of the composite material promote absorption of impact energy.

To keep the high-speed, high-energy impact of varying intensity composite materials formed by polymerizing resins and reinforcing laminate of woven fabrics with are frequently used particular fibers in the form of fiberglass and carbon fabric (carbon-fiber, carbon-Kevlar, Kevlar).

The analysis of investigations performed by different authors and the results of tests of composite materials made by polymerizing resin and a reinforcement of fiberglass and carbon fabric showed that the greatest strength and impact resistance has a composite based on carbon fabric. The specific energy absorption does not depend on the speed of impact and the mass of the object. The process of destruction of composites, FRP has a wavy character due to large deformation zones, energy absorption occurs with a large amplitude. When you break the fiberglass fiber energy absorption is minimal. More stable rates of destruction show composite materials made from carbon fabric. The amplitude of the energy absorption is less pronounced than in the destruction of composites, glass reinforced plastic (Figure 1).

The tests at shock loads showed that the carbon fabric reinforcement provides the best results in specific absorption of energy (60÷62 J/g), whereas the specific energy absorption of fiberglass reinforcing materials is in the range of 18÷34 J/g..

Holding high-speed impact of various carbon-fiber weave fibers provided a comprehensive mechanism of inhibition of growth of cracks:

1) creation of barriers to crack; involving complex interactions in the redistribution of stresses between the fibers and structural elements of the interface area; branching cracks predominantly in the axial direction.

2) blunting the crack tip due to the multistage relaxation processes;

3) low sensitivity to stress concentrators fibers.

Energy exchange between the two fracture systems arises from the fact that the cleavage and slip limiting structural fiber elements with respect to each other, the fiber acts as a part of the matrix up to the point of discontinuity fragment.

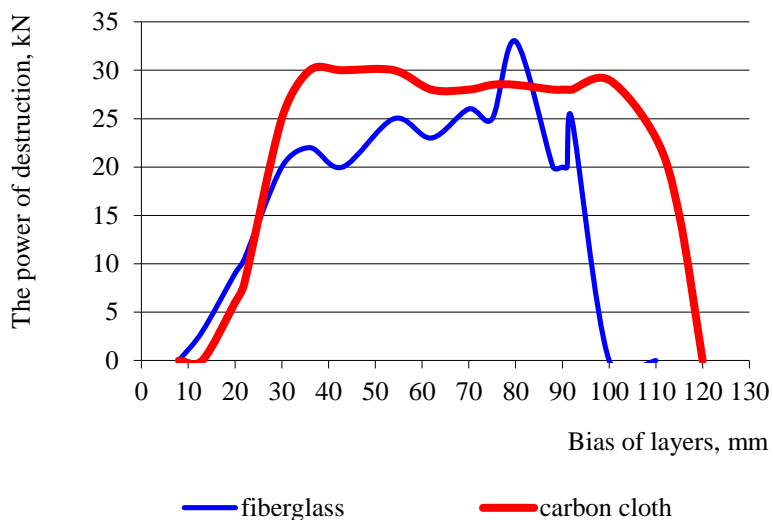


Fig. 1. The nature of the destruction of composite materials reinforced with fiberglass and carbon fabric.

Thus, macro- and microstructure of the composite material helps absorb impact energy.

Materials reinforced with carbon plastics can be used for indoor decoration of cars, covering of car seats and salons as a material that provides high specific strength and the best performance of passive safety.

#### List of references

1. Прочность тонколистового элемента конструкции из композиционного материала при ударном растяжении / Г.В. Степанов, В.И. Зубов, В. М. Токарев, А.В. Дроздов, Я.Р. Клепачко // Проблемы прочности. — 2001. — № 1. — С. 38-48.
2. Перепёлкин К.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты / К.Е. Перепёлкин. СПб: Научные основы и технологии, 2009. — 380 с.

## THE MODERNIZATION OF THE COURSE «PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLIDS» PROGRAM

**Grigor'eva M.A.<sup>1</sup>, Rusetsky, V.A.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Ph.D., Docent PSTU, Mariupol, Ukraine, (mariya.grigoreva.51@mail.ru)

<sup>2</sup>Ph.D., Docent PSTU, Mariupol, Ukraine. (belochka\_1946@mail.ru)

Specificity of training in the field of «Metallurgy and heat treatment of metals» in PSTU is carried out according to the curriculum, where in addition to the natural sciences there are cycles of general technical and special disciplines, so the learning process is based on the interdisciplinary relationships, which contribute to the successful mastery of professional knowledge and skills. The formation of informative and creative activity of the future experts is based on an integrated approach that combines fundamental (natural sciences) and general technical education, that in focus on the identification of the essential principles and relations of production processes leads to a holistic education. The lack of community of methodical and methodological units leads to a self-teaching of academic subjects without tracking logic-substantive links between the general technical and special disciplines, which should be aimed at solving the problems of our time.

Continuously increasing demands on the properties of materials cause the necessity of advanced development of scientific research in the field of materials engineering. Modern materials science as the science of the structure and properties of various materials, is significantly upgraded by integrating of solid-state physics, chemistry and technology of inorganic materials, mechanics of deformed body and nonlinear fracture mechanics. All materials "live", change its structure and properties during their preparation, manufacture details from them and their further use. Therefore, the current direction of materials science should reflect the direction of the microstructure to the physical and mechanical properties, taking into account the evolution of the microstructure and properties of materials during process of their use. Last time there is a trend of more and more rapid transition of different researches from the science-research sphere to industry. Not last place in this regard is occupied by pellicle technologies. Thin pellicles had widespread use in microelectronics, computer science, materials for various sensors, etc. The uniqueness and difference in the mechanical, electrical, magnetic, optical and many other properties between the thin pellicles and bulk samples were the basis of their use in various fields of science and technology.

Department «Metallurgy and heat treatment of metals» of Priazovskyi State Technical University collaborates with leading European universities in the framework of Tempus MMATENG project in direction «Modernization of two cycles (MA, BA) of competence-based curricula in Material Engineering according to the best experience of Bologna Process». Therefore, significant changes on a number of disciplines, including the course «Physics and Chemistry of Solids» have been conducted at the department in the working plans of training specialists. This course is taught in the size - 5 ECTS credits, including: 34h. of lectures; 34h. of practical lessons and 112h. of independent work. The program of discipline includes such topics: the electronic structure of metals; interatomic interaction forces in solids; atomic-crystalline structure of solid solutions and metal phases; diffusion in metals and alloys. Section of diffusion is expanded with module «Thin Films in Energy Saving Technologies», in which the processes of the interaction of atoms of neutral particles from the substrate surface are studied: «Potential and kinetic electron emission of neutral particles by reacting of neutral particles with the substrate surface». «Adsorption of the neutral particles falling on the surface». «The analysis of the potential curves of adsorption». «Nuclear implantation and potential curves of adsorption». «The process of nucleation and mechanisms of pellicles growth on substrates». «Embryonic growth mechanism of Volmer-Weber». «Layered growth mechanism (the mechanism of the Frank - van - der - Merwe)». «Spiral growth mechanism of Stransky – Krastanov». Methods for preparing pellicles are: chemical

International Scientific-Methodological Conference «How to teach material sciences:  
new approaches and experiences from the MMATENG project»

---

sedimentation from vapor phase; physical sedimentation from gaseous phase and plasma technologies of thin pellicles making.

It should be noted that the module is provided with teaching materials: lecture notes; methodical development for practical training and methodic manuals for independent work.

List of references

1. Технология формирования тонких слоев полупроводниковых плёнок [Электронный ресурс]: – Режим доступа: [www.russianelectronics.ru/leader-r/review/.../49951/](http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/.../49951/).
2. Устройство для нанесения тонких полупроводниковых пленок [Электронный ресурс]: – Режим доступа: [www.findpatent.ru/patent/233/2331717.html](http://www.findpatent.ru/patent/233/2331717.html)

## DEVELOPMENT OF THE “DOCUMENTATION”- STAGE OF THE “MATERIAL SELECTION” APPROACH

**Tkachenko I.**

D.Sc., Prof., PSTU, Mariupol, Ukraine, (ift955@gmail.com)

“Material Selection” is widely used approach for choosing a material among the currently existing ones to make a product with required combination of various pairs of properties. The approach consists of several stages finishing of which is called “Documentation” and requires searching as full property data as possible for a candidate material of a previously selected material family. The searching is proposed to do by using the relevant data bases in various types of sources in literature, internet etc. Unfortunately, some problems arise on the stage:

- Large number of relevant industrial material grades
- Inevitable statistical scattering of each property characteristic
- Unknown the real statistical scattering ranges for materials of some producers
- Overlapping the scattering intervals of one-type property characteristics for different material grades
- Unpredictable scattering of some property characteristics due to:
  - different kinds of embrittlement (metallic alloys, polymers, composites)
  - synergetic effects of numerous technological parameters
- Undefined reliability of a finally chosen material

Proceeding from the above, an objective, scientifically grounded choice of an optimal highly reliable material is difficult.

As a way to solve the problems, the use of the developed *computer statistical approach* for each material family is proposed. The approach consist of the following stages:

- Revealing technological parameters making statistically significant effects on each material property characteristic distribution
- Elaboration of the regression models and forecasting the frequency distributions
- Computer modeling of the joint and separate effects of technological parameters on statistical distribution of each property characteristic
- Multipurpose optimization of the parameters for obtaining guaranteed with necessary confidence probability combination of properties

Using the approach, different existing data bases for various material families may be treated to obtain the corresponding highly adequate regression models. Such models give quantitative description of the influences of technological parameters on the controlled performance characteristics and may be used further to search the parameters values providing the required statistical distribution for each property characteristic. So, not only a potential property values but also the reliability of a candidate material grade can be evaluated quantitatively.



## MULTIPURPOSE OPTIMIZATION AS A KEY STAGE OF A MATERIAL SELECTION PROCESS

**Tkachenko I.**

D.Sc., Prof. PSTU, Mariupol, Ukraine , (ift955@gmail.com)

Most of modern industrial materials has to meet a number of technical, economical, ecological etc. requirements in order to be used effectively at a given exploitation, manufacturing, waste utilization etc. conditions. Besides, an important role in providing the effectiveness is played by the reliability of a material. Therefore, according to the basic mathematical statistics principles, a comprehensive performance characteristic of an industrial material has to be a multidimensional (vector) function that provides taking into account the inevitable statistical scattering. Evidently, that looking for an extremum of such a vector function by means of a multipurpose optimization technique can only give a best material of choice.

An approach to realize the strategy is proposed based on computer statistical revealing, Monte-Carlo modeling, prediction and multipurpose optimization of multi-dimensional material production conditions. The aim of the approach is to provide guaranteed with necessary confidence probability exceeding of technical (economical, ecological etc.) requirements to all controlled quality (economical, ecological etc.) characteristics.

The proposed approach was successfully used in industry to improve the quality of large scale rolled industrial products made of high strength multi-element alloy steels with using multi-parameter treating technologies.

The main capabilities of the developed computer statistical approach are:

- Comparing quantitatively performance levels reached for different products or technological processes with taking into account the statistical scattering
- Revealing production technology parameters giving statistically valuable effects on each quality characteristic with further Monte Carlo modeling of the parameters joint and separate actions
- Applicability assessment of new developed materials or technologies prior to their use in industry
- Revealing possible effects of real manufacturing conditions on industrial product performance which cannot be specified in laboratory conditions especially for multi-element (alloying and impurity) materials with multi-parameters treating technologies
- Specifying production technology parameters providing the guaranteed with necessary confidence probability exceeding of technical (economical) requirements to all controlled quality (economical) characteristics.

Nowdays, the basic elements of the approach are being taught to graduate students in Materials Science Department of Pryazovsky State Technical University.



**QUANTITATIVE PREDICTION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF  
METALLIC SOLID SOLUTIONS BASED ON THE ATOM ELECTRONIC PARAMETERS  
OF THE COMPONENTS**

**Tkachenko K.**

PhD, Ass.Prof. PSTU, Mariupol, Ukraine , (kostyantyn@gmail.com)

Mechanical and physical properties of materials determine their performance particularly at elevated temperatures. So, forecasting the properties for metallic solid solutions in wide temperature range is a key stroke in design of alloys with specific elastic, thermal expansion, heat resistance etc. characteristics. One of the possible ways for solving the problem is the quantum mechanic “first principles” calculations. Due to the strong limitations of such approach, especially for practical applications, more realistic is quantitative prediction of the solid solution properties based on the electronic structure parameters of the atoms.

The proposed approach is realized by elaborating regression models, describing inevitable, physically based ties between various characteristics of the same object. The highly adequate regression models were developed for some electron concentration parameters of pure metals and their basic physical property characteristics: sublimation energy, Young modulus, melting energy etc. Using further the known “mixture” rule the relevant physical and mechanical properties for a dilute solid solution may be calculated.

One of the main advantages of the developed approach is physical grounding the well known models of solid solutions: quasi-chemical theory, regular solutions theory etc. that improve understanding the relations between chemical composition, structure parameters and properties of materials.



## **ПРО НЕОБХІДНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ «МАТЕРІАЛИ ІЗ ПОНОВЛЮВАНИХ РЕСУРСІВ» В НАВЧАЛЬНІ ПЛАНИ УКРАЇНСЬКИХ ВУЗІВ**

**В. Ю. Іващенко**

К. т.н., доцент, Приазовський державний технічний університет, Маріуполь, Україна,  
(gazetaxronos@gmail.com)

Сталий економічний розвиток передбачає розширення сфери використання поновлюваних ресурсів. Збільшення населення планети і зростання обсягів споживання ведуть нас до необоротного виснаження невідновлюваних ресурсів (корисні копалини, землі господарського призначення) і дефіциту сировини. Однак за 23 роки незалежності влада України так і не змогла подолати соціалістичну спадковість в організації виробництва, яка ґрунтувалася на державному фінансуванні і необмежених сировинних ресурсах. Дублює ситуацію і академічний підхід в освітньому процесі, за традицією не дозволяючи сформувати у майбутнього фахівця техніко-екологічну компетентність, оскільки інженера готували для виробництва, пріоритетом для якого було виконання плану за всяку ціну, у тому числі - без урахування екологічних наслідків.

На мій погляд існуючий підхід в освітньому процесі має ідеологічні протиріччя: ми вчимо майбутнього інженера враховувати техніко-економічні фактори при проектуванні виробничої одиниці, але не навчасмо його аналізу та прогнозування екологічних ризиків. Однак розвиток виробничих потужностей неминуче впливає на навколишнє середовище і наше завдання - сформувати у фахівця матеріалознавця техніко-екологічну компетентність, на якій повинна ґрунтуватися його соціальна відповідальність.

Індустрія як соціальне явище тримається на трьох складових: сировинні ресурси, технологія, продукт. Вилучення ресурсів із середовища, технологічні забруднення і викинуті відпрацьовані продукти - все це порушує екологічну рівновагу. Дефіцит сировини стає головною проблемою, а значить всі побічні продукти, викиди і сміття треба перетворити на сировину. В якості сировини можна розглядати відходи рослинного і тваринного походження, обсяг яких може забезпечити промислове виробництво, а також тверді побутові та промислові відходи, тому що їх обсяги зростають зі збільшенням споживання. Таким чином виникає необхідність у створенні ефективних технологій вторинної переробки, за рахунок чого можна зберегти здатність навколишнього середовища до самопоновлення.

Чому впровадження дисципліни «Матеріали з відновлюваних ресурсів» є актуальним для університетів України? Ми можемо розглянути кілька найважливіших причин.

*По-перше*, Україна має великі сільськогосподарські угіддя (72% від загальної площі держави) і є постачальником зерна, соняшникової олії та багатьох харчових і нехарчових продуктів на зовнішній ринок, отже, сільське господарство виробляє багато біологічних відходів, які можна переробляти.

Розглянемо продукцію найбільших українських агрохолдерів (табл.1). Очікуваний валовий збір зерна в Україні в 2014/2015 році без урахування АР Крим складе 61,7 млн тон, збір олійних - соняшнику, сої та ріпаку - очікується в обсязі 15,6 млн тон. Таким чином є можливість виробництва паливних продуктів з соломи - палетів, а також промислових рослинних олій, мастильних матеріалів, рослинних волокон і текстилю, паперу, біопластику та ін. [1]

Відновлювальні джерела сировини тваринного походження включають: пір'я, шкіру, тваринний жир, а також похідні продукти - мастильні матеріали, тваринний клей, сухожилля, шкаралупу. Пташине пір'я і панцирі сільськогосподарських ракоподібних є сировиною для виробництва целюлози, плівок, захисних покриттів, багатьох фармакологічних продуктів. Все це - продукти аграрного та водного господарств.

Проблема поновлювання ресурсів є для України традиційною. Яскравий приклад - кукурудзяний період в СРСР в 1955-1960 рр. Кукурудза була повинна допомогти вирішенню зернової та кормової проблеми радянського сільського господарства. Качани цієї культури мали стати додатковим джерелом зерна, а зелена маса забезпечити тваринництво кормами.

За задумом Микити Хрущева, аграрний досвід вирощування кукурудзи у США можна було б повторити в СРСР, переважно в Україні. Однак незважаючи на різноманітні перспективи переробки та отримання кукурудзяної муки, масла, комбікормів, повсюдне впровадження кукурудзи велося без урахування ґрунтово-кліматичних і господарських особливостей регіонів. В результаті шкода, що завдана землям, низькі врожаї призвели до дефіциту кормів для тваринництва і підвищення цін [2].

*По-друге*, Україна купує закордонний газ і збільшення частки виробництва біопалива на внутрішньому ринку могла би зменшити напруженість у сфері енергетичних ресурсів.

Структура споживання різних видів енергоресурсів і динаміка зміни цін на закуповуваний природний газ представлені на рис. 1.

За розрахунками громадської спілки «Біоенергетична асоціація України», загальний економічно обґрунтований потенціал виробництва біометану становить 26,5 млрд куб. м в рік. Цей обсяг може бути отриманий з відходів підприємств агропромислового комплексу, лісового господарства, із стічних вод, а також з твердих побутових відходів на деяких міських звалищах. Для порівняння: в 2013 р. Україна імпортувала 27,974 млрд куб. м природного газу, отже, тільки за рахунок виробництва біометану Україна цілком здатна з часом взагалі відмовитися від імпортного природного газу. В цілому ж розвиток виробництва рідкого і газоподібного біопалива (біоетанолу, біобутанолу, біометанолу, біодизелю, біогазу та біоводню) вимагає політичного рішення. [3]

Таблиця 1 – Найбільші агрохолдери України та їх продукція

Місце у списку Форбс, 2014	Компанія агрохолдер	Основна продукція / види діяльності
7	«Kernel»	кукурудза, соя, пшениця і соняшник, маслянисті і кормові культури
9	UkrLandFarming PLC	кукурудза, пшениця, соняшник, ячмінь, цукровий буряк, озимий ріпак, соя і кормові культури, яйця, цукор, продукти м'ясної промисловості
15	Cargill Ukraine	рослинна олія, насіння соняшнику, шрот, корми
17	Мироновские хлебопродукты	зернові і технічні культури, напівфабрикати та м'ясо птиці, корми
34	«NIBULON»	пшениця, ячмінь, соняшник, корми, продукти м'ясної промисловості
35	«JTI Ukraine»	тютюн
37	«Kreativ»	рослинна олія, шрот, комбікорм, жири, маргарин, свинарство, зернові і технічні культури: пшениця, соняшник, соя, ячмінь та ін. Виробляє біопаливні пелети з: відходів сільського господарства; відходів переробки насіння соняшника (лушпиння).
46	Philip Morris Ukraine	тютюн

52	Astarta	цукровий буряк, цукор, соя, молоко, зернові культури
56	Milkiland + Milkiland Agro	молочні продукти сільського господарства (молоко, сир), зернові культури

*По-третє*, Україна знаходиться на загрозовому місці за кількістю звалищ твердих побутових відходів. У країні існує 4,5 тис. сміттєзвалищ і полігонів загальною площею 7,8 тис. га. Це становить близько 4% території країни. Протягом 2014 українці накопичили близько 59 млн куб. м або 13 млн тон сміття. Структура побутових відходів наведена на рис. 2.

Багато з відходів переробляються в малих кількостях через те, що немає переробних підприємств потрібного типу. Найкраще працює переробка макулатури, для якої сировину доводиться закуповувати за кордоном, при цьому для середнього українця збір макулатури не є нормою життя через її дешевизну.

Переробка побутових відходів потребує не тільки організації виробничих потужностей, а й організації послуг з поводження з відходами: а) екологічне управління сировинними потоками - збір відходів, логістика, сортування, переробка, виробництво і збут продукції з вторинної сировини; б) розробка індивідуальних концепцій з утилізації та управління відходами; в) системні послуги, наприклад, мережа точок по прийому побутового електрообладнання в утилізацію; г) проектування, будівництво, і експлуатація сміттєпереробних установок.

Отже, враховуючи наведені факти, в Україні існує запит на впровадження описаних технологій та підготовку фахівців.

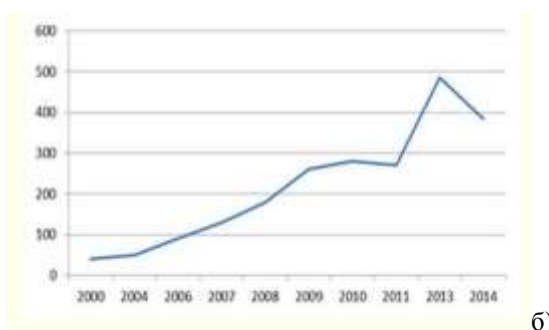


Рис. 1. Структура споживання енергоресурсів в Україні у відсотках станом на 2010р.(а) та зміна цін на закуповуваний природний газ протягом 2000 – 2014 рр. (б).

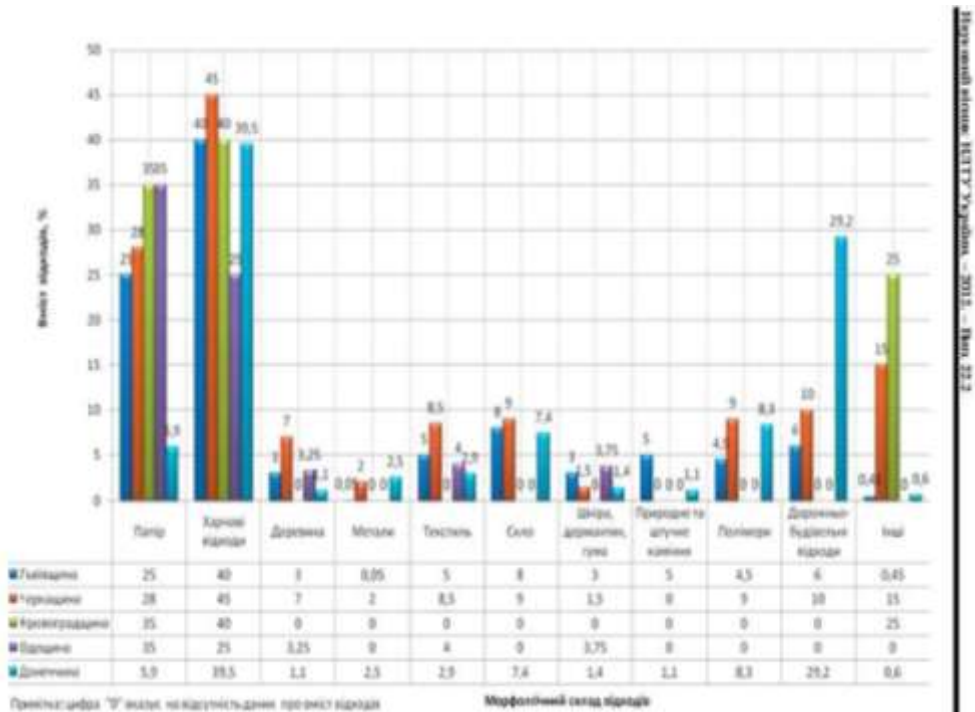


Рис. 2. Структура побутових відходів в Україні [4].

Впроваджувана дисципліна «Матеріали з відновлюваних ресурсів», запропонована в рамках проекту TEMPUS-MMATENG Краківським технологічним університетом, передбачає багатопланову підготовку, оскільки зачіпає комплексну ресурсозберігаючу виробничу проблему, що включає ресурсозбереження (екологічний аспект), виробництво (технологічний і економічний аспект), кінцевий продукт (соціальний аспект). Тому загальним теоретичним завданням є - навчити студентів оцінювати різноманіття типів господарської діяльності, заснованих на використанні поновлюваних ресурсів і вторинної переробки, а надзавданням – виробити самостійне вміння студента розуміти які чинники треба врахувати при розробці технології, що використовує відповідні сировинні матеріали.

В ПДТУ дисципліна включена до плану підготовки бакалаврів-матеріалознавців в 7 семестр і складається з 24 годин лекцій, 12 годин семінарських занять, 12 годин самостійної роботи. Підсумкова форма контролю - залік.

При впровадженні дисципліни в ПДТУ, для умов південного сходу України припускаю зробити пріоритетною темою - виробництво будівельних матеріалів (адоб, геокар, торф'яні блоки, композити на основі глини, деревних та інших рослинних відходів). На другому місці - виробництво композиційних матеріалів на основі біологічної сировини і з використанням біокомпонентів. Далі за списком - олійні продукти для техніки, фармакології та косметології, полімери на основі крохмалю, рідкісні матеріали і нарешті, виробництво біо-палива.

Форми практичних занять: тематичні семінари та командні проєкти, з подальшою участю у студентських конференціях. Проєкт повинен включати аналіз відкритих джерел

інформації за обсягами сировини, огляд існуючих технологій переробки, огляд методів контролю якості технологічного процесу і готової продукції, інженерні пропозиції щодо організації переробного підприємства.

*Автор висловлює подяку кандидатів філософських наук С. В. Янковському, доценту Маріупольського державного університету (Україна), за інтерес до цієї теми та цінні доповнення.*

Перелік посилань

1. <http://forbes.ua/ua/ratings/2> - Форбс Україна: 200 найбільших компаній.
2. <http://news.finance.ua/ua/news/~310830> - Олександр Артем'єв. Цю культуру всюди впроваджуй.
3. <http://www.biowatt.com.ua/analitika/potensial-proizvodstva-biogaza-v-ukraine> - Потенціал виробництва біогазу в Україні.
4. Погрібний І.Я. Проблеми визначення морфологічного складу твердих побутових відходів з урахуванням сучасних умов переробки / І. Я. Погрібний // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. пр. – 2012. – Вип. 22.2. – С. 59-63.



## ПРЕПОДАВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ» В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

Галимов Э.Р.<sup>1</sup>, Аблясова А.Г.<sup>2</sup>, Беляев А.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>д-р. техн. наук, профессор КНИТУ-КАИ, Казань, Россия, (engelgalimov@yandex.ru)

<sup>2</sup>канд. техн. наук, доцент КНИТУ-КАИ, Казань, Россия, (kstu-material@mail.ru)

<sup>3</sup>канд. техн. наук, доцент КНИТУ-КАИ, Казань, Россия, (alexey-beljaev@mail.ru)

В настоящее время в России определены следующие стратегические направления развития в области материаловедения: «умные» конструкции, компьютерные методы моделирования структуры и свойств материалов, интеллектуальные материалы и покрытия, энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии, полимерные композиционные материалы, аморфные материалы и покрытия, сверхлегкие материалы и др.

Современное общество нуждается в специалистах, способных решать различные технологические задачи. Концепция многоуровневой подготовки изменила требования к качеству высшего образования, что вызывает необходимость постоянного обновления его содержания и совершенствования учебного процесса. Новые задачи определяют и комплекс определённых требований к выпускнику, а именно, умение хорошо ориентироваться во все возрастающем потоке научно-технической информации. Специфика подготовки студентов в технических университетах вызывает необходимость разработки учебно-методической литературы и учебных комплексов, удовлетворяющих требованиям стандарта высшего образования.

Весьма актуальной задачей является внедрение виртуальных экспериментов и лабораторий на базе компьютерных классов [1] с применением современных информационных технологий и программных продуктов, таких как CES EduPack и CES Selector. Разработки Granta Design широко используются в образовании ВУЗами, научных исследованиях и промышленных разработках. В частности, в курсах материаловедения, включая выбор материалов, машиностроении, металлургии, производстве, науках о полимерах широко используются CES EduPack и специальные базы данных.

Дисциплина «Материаловедение», являющаяся одной из базовых дисциплин бакалавриата, позволяет студентам получить целостное представление о взаимосвязи свойств материала с их строением и составом. При современных масштабах потребления материальных ресурсов важной является проблема понимания роли и места различных материалов во многих сферах человеческой деятельности. Умение разбираться во всем многообразии традиционных и современных материалов является основой успешного решения их целенаправленного выбора для реализации конкретных задач. Существующий марочный ассортимент материалов и интенсивное обновление их номенклатуры, непрерывное расширение областей применения продукции на их основе, а также необходимость постоянного стремления повышать рентабельность производства вызывает необходимость обоснованного подхода к выбору материалов для проектируемых изделий с учетом технической и экономической целесообразности. С применением продукта CES Selector существенно упрощается работа с выбором материалов, имеется возможность включать в общую базу данных собственные материалы и синтезировать новые.

При подготовке бакалавров, магистров и аспирантов параллельно с имеющимися учебно-методическими пособиями и литературой в области материаловедения (М. Ашби, М.К. Будински, Арзамасова Б.Н. [2] и др.) успешно может быть использована программа EduPack.

В обучении студентов технических специальностей отдельная роль отводится использованию программных продуктов САПР для конструкторской, технологической

подготовки производства и инженерного анализа, которые широко применяются на лабораторных занятиях по дисциплинам «Автоматизация процессов», «Инженерное обеспечение производства», «Информационные технологии», «Компьютерная графика» и др.

К таким продуктам относится программная система NX от SIEMENS PLM Software, включающая средства двухмерного и трехмерного проектирования CAD, промышленного дизайна, автоматизации создания программ для станков с ЧПУ и CAE, необходимый для автоматизации инженерных расчетов, анализа и симуляции физического процессов. К специальным возможностям, востребованным в области материаловедения и технологии материалов, можно отнести проектирование листовых деталей с помощью штамповки, вытяжки, формовки, различных методов сварки, широко применяемых в промышленности, и создание их из композитных материалов.

В настоящее время наблюдается тенденция увеличения часов самостоятельной работы. Отметим, что при ее выполнении, а также написании рефератов и курсовых работ в рамках программы дисциплины «Материаловедение» студентам необходимы навыки обработки, систематизации и анализа информации, полученной из научных статей, диссертаций, монографий, патентов и др., размещенных на электронных ресурсах, в том числе и на иностранных языках. Здесь также полезной окажется программный продукт CES EduPack.

Таким образом, для успешного изучения курса «Материаловедение» необходим комплексный подход с использованием последних достижений в области материалов и технологий их переработки, современной экспериментальной базы, а также средств обучения с применением информационных технологий и прикладных компьютерных программ, позволяющих выпускать специалистов высокого уровня.

#### Перечень ссылок

1. Вдовина С.В., Григорьева О.С. Применение цифровых лабораторий при изучении общехимических дисциплин. Вестник Казан. технол. ун-та, 17, 5, 2014. с. 300-303.
2. Арзамасов Б.Н., Макаров В.И., Мухин Г.Г. Материаловедение. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 648 с.

## **ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА**

**Галимов Э.Р.<sup>1</sup>, Галимова Н.Я.<sup>2</sup>, Аблясова А.Г.<sup>3</sup>, Шарафутдинов Р.Ф.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>д-р техн. наук, профессор КНИТУ-КАИ, Казань, Россия, (engelgalimov@yandex.ru)

<sup>2</sup>канд. техн. наук, доцент КНИТУ-КАИ, Казань, Россия. (kstu-material@mail.ru)

<sup>3</sup>канд. техн. наук, доцент КНИТУ-КАИ, Казань, Россия, (kstu-material@mail.ru)

<sup>4</sup>аспирант КНИТУ-КАИ, Казань, Россия, (kstu-material@mail.ru)

Потребности современной промышленности в новых материалах и передовых технологиях предусматривают разработку композиционных материалов с заранее заданным комплексом технических свойств, уровень и сочетание которых обусловлены функциональным назначением изделий и конкретными условиями их эксплуатации. При этом следует учитывать, что свойства композиционных материалов существенно изменяются под действием факторов химического, физического и технологического характера, которые обеспечивают практически неограниченные возможности для совершенствования их свойств в заданном направлении. Требования, предъявляемые к композиционным материалам, крайне разнообразны и зависят от условий получения, переработки и эксплуатации изделий, которые должны обладать высокой надежностью, работоспособностью, технологичностью, удовлетворять критериям «стоимость-эффективность» и экологичность.

В Федеральном государственном образовательном стандарте направления 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» в дисциплинах «Общее материаловедение и технологии материалов» и «Новые материалы и технологии» на лекционных, практических и лабораторных занятиях, а также при выполнении курсовых работ предусматривается изучение структуры, свойств и областей практического применения композиционных материалов на основе крупнотоннажных полимеров. При рассмотрении этого раздела особое внимание уделяется методам регулирования структуры и свойств различных видов полимеров, обеспечивающих необходимый уровень их технических свойств.

Известно, что основным способом целенаправленного регулирования свойств полимеров является физико-химическая модификация. Большинство композиционных материалов получают физико-химической модификацией путем смешения различных по функциональному назначению модифицирующих добавок с расплавами полимеров. Однако резервы снижения себестоимости выпускаемой продукции за счет подбора модификаторов полимерных композиций не слишком велики, так как основная масса целевых добавок закупается за рубежом. В связи с этим важной задачей является решение проблемы дефицита и дороговизны исходных компонентов для получения полимерных материалов, снижения сырьевой себестоимости продукции за счет совершенствования и оптимизации рецептур композиционных материалов и режимов работы перерабатывающего оборудования. В этих условиях чрезвычайно важны исследования, направленные на поиск эффективных импортозамещающих компонентов полимерных материалов, обладающих высокими модифицирующими свойствами, доступностью, низкой себестоимостью и экологической безопасностью.

В настоящее время одно из ведущих мест по объемам производства и применения занимает поливинилхлорид (ПВХ), что обусловлено доступностью и сравнительно низкой стоимостью исходного сырья, возможностью получения различных видов полимера (суспензионный, эмульсионный, блочный, микросуспензионный) и уникальной способностью подвергаться модификации.

Композиционные материалы на основе ПВХ используются исключительно в модифицированном виде и представляют собой многокомпонентные системы, содержащие

различные целевые добавки для повышения прочностных показателей, снижения вязкости расплавов, расширения температурных интервалов применения, уменьшения стоимости изделий и придания им заданных свойств. Эффективность модификации ПВХ определяется структурой матричного полимера, природой, числом, содержанием, соотношением и способами введения добавок, физико-химическими процессами на границе раздела компонентов, режимными параметрами переработки в готовые изделия и другими факторами.

Направленное регулирование параметров процессов получения и переработки композиционных материалов на основе ПВХ для получения изделий с гарантированным качеством вызывает необходимость обеспечения качественного диспергирования и смешения исходных компонентов в полимерной матрице. Поэтому теоретическое описание процессов смешения, диспергирования и течения расплавов ПВХ композиций с использованием методов математического моделирования необходимо для оптимизации и интенсификации процессов их переработки в готовые изделия, а также расчета и прогнозирования технологических и эксплуатационных свойств.

На сегодняшний день исключительно актуально решение проблемы дефицита и дороговизны полимерного сырья, снижения сырьевой себестоимости продукции за счет совершенствования и оптимизации рецептур композиций и режимов работы перерабатывающего оборудования. Однако резервы снижения себестоимости за счет подбора компонентов композиций не слишком велики, так как основная масса целевых добавок закупается за рубежом. В этих условиях чрезвычайно важны и актуальны исследования, направленные на разработку эффективных и доступных отечественных компонентов ПВХ композиций, обладающих, с одной стороны, высокими модифицирующими свойствами, с другой – более низкой себестоимостью. Поэтому изучение результатов комплексных исследований, направленных на разработку композиционных материалов, энергоэффективных ресурсосберегающих технологий их получения и переработки, безусловно, актуальны.

Для оптимизации технологических режимов переработки композиционных материалов используются новые математические модели, методики, алгоритмы и программы расчета характеристик соответствующих процессов, учитывающие сложную форму и теплогидродинамическую обстановку в рабочих полостях перерабатывающего оборудования, неньютоновское реологическое состояние рабочих сред, переменность концентрации и показателей дисперсных включений, действие полей массовых сил.

В процессе изучения дисциплины студентами определяется эффективность модификации ПВХ различными добавками, в том числе промышленными (техногенными) отходами минерального, органического или органоминерального происхождения, применение которых в отдельности или в сочетании с другими модифицирующими добавками позволяет улучшить не только технологические и эксплуатационные свойства материалов, но одновременно решить проблему их эффективной утилизации. Кроме того, рассматриваются вопросы оптимизации составов и режимов переработки дисперсно-наполненных ПВХ композиций. Устанавливаются особенности и закономерности изменения свойств композиционных материалов с учетом морфологической гетерогенности исходного полимера и процессов структурообразования в процессе его модификации; природы, дисперсности, содержания и соотношения функциональных добавок; методов и режимов переработки в полуфабрикаты или готовые изделия.

Научно обоснованные рекомендации по разработке рецептур и способов получения композиционных материалов на основе ПВХ, интенсификации технологических режимов перерабатывающего оборудования позволяют расширить марочный ассортимент и повысить

качество выпускаемой продукции, обеспечить сбережение энергетических и материальных ресурсов, получить значительный технико-экономический, экологический и социальный эффект.

Таким образом, основные задачи, которые решаются при изучении данного раздела учебной дисциплины состоят в том, что студенты:

- получают представления о методах проведения качественного и количественного анализа процессов структурообразования в композиционных материалах с использованием современного испытательного оборудования (сканирующей зондовой, электронной и оптической микроскопии, ИК-спектроскопии, вискозиметрии и др.);
- устанавливают закономерности изменения технологических и эксплуатационных свойств композиционных материалов в зависимости от природы, содержания, дисперсности и соотношения компонентов, способов и режимов подготовки композиций, формирования межфазных и переходных слоев на границе раздела компонентов и других факторов;
- получают представления о процессах переработки ПВХ композиций в условиях теплообмена, при наличии межфазных границ, внутренней диссипации, позволяющая повысить адекватность описания реально протекающих процессов;
- решают оптимизационные задачи, связанные с процессами получения и переработки ПВХ композиций в готовые изделия с использованием методов математического моделирования, критериев качества и энергоресурсосбережения.

#### Перечень ссылок

1. Гузев В.В. Структура и свойства наполненного поливинилхлорида. - СПб.: Научные основы и технологии, 2009. – 608 с.
2. Галимов Э.Р., Мухин А.М., Галимова Н.Я., Шибиков В.Г. Композиционные материалы на основе поливинилхлорида, дисперсных наполнителей и полимерных модификаторов. - Наб. Челны: ИНЕКА, 2012. – 170 с.
3. Галимов Э.Р., Галимова Н.Я., Мухин А.М., Шарафутдинов Р.Ф. Процессы структурообразования и формирования свойств при модификации поливинилхлорида. - Казань: Отечество, 2014. – 161 с.
4. Thermophysical Properties of Modified Polyvinyl Chloride Compositions / Shafigullin L.N., Shveyov A.I., Gumerov A.F., Gumerov M.I., Galimov E.R. // World Applied Sciences Journal. 2013. 26 (10). pp. 1276-1279. <http://www.idosi.org/wasj/wasj26%2810%2913/4.pdf>. (Scopus).
5. The Influence of Mineral Fillers on Mechanical Properties of Polyvinyl Chloride Composites / Shafigullin L.N., Ganiev M.K., Gumerov I.F., Bobrishev A.A., Galimov E.R., Galimova N.Ya. // World Applied Sciences Journal. 2013. 28(2). pp. 172-175. <http://idosi.org/wasj/wasj28%282%2913/4.pdf>. (Scopus).
6. Functional materials based on modified polyvinylchloride / Galimov E.R., Muhin A.M., Galimova N.Ya. // Journal of international scientific publications: Materials, Method and Technologies. Bulgaria, 2013. Vol.7, Part3. pp. 130-136.
7. Composite materials based on polyvinylchloride / Galimov E.R., Galimova N.Ya. // Journal of international scientific publications: Materials, Method and Technologies. Bulgaria, 2011. Vol.5, Part3. pp. 130-136.
8. Filled composites based on rigid and plasticized polyvinylchloride / Galimov E.R., Muhin A.M., Galimova N.Ya. // Journal of international scientific publications: Materials, Method and Technologies. Bulgaria, 2013. Vol.7. Part3. pp. 123-129.



**НОВАЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОБЕРЕГАЮЩАЯ КОМБИНИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ  
НАНЕСЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ****Галимов Э.Р.<sup>1</sup>, Галимова Н.Я.<sup>2</sup>, Аблясова А.Г.<sup>3</sup>, Беляев А.В.<sup>4</sup>**<sup>1</sup>д-р техн. наук, профессор КНИТУ-КАИ, Казань, Россия, (engelgalimov@yandex.ru)<sup>2</sup>канд. техн. наук, доцент КНИТУ-КАИ, Казань, Россия, (kstu-material@mail.ru)<sup>3</sup>канд. техн. наук, доцент КНИТУ-КАИ, Казань, Россия, (kstu-material@mail.ru)<sup>4</sup>канд. техн. наук, доцент КНИТУ-КАИ, Казань, Россия, (beljaev.a.v@gmail.com)

Научно-технический прогресс неразрывно связан с совершенствованием традиционных и разработкой новых высокоэффективных материалов и технологий. В приоритетных направлениях развития науки, технологий и техники в РФ выделяются разработки в области комплексной антикоррозионной защиты, упрочняющих и других функциональных покрытий. В Федеральном государственном образовательном стандарте направления 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» в дисциплинах «Общее материаловедение и технологии материалов» и «Новые материалы и технологии» предусмотрено изучение методов и средств защиты изделий путем нанесения лакокрасочных материалов на основе эпоксидных, полиэфирных, поливинилхлоридных и других связующих.

Среди большого разнообразия покрытий особое место по эффективности и перспективности применения занимают покрытия на основе полимерных порошковых композиций (ППК). В последние десятилетия во всех промышленно развитых странах наблюдается стремительный рост объемов производства и применения порошковых материалов и покрытий на их основе. В настоящее время до 20% всех окрашиваемых изделий и конструкций изготавливаются с использованием ППК.

Отличительными особенностями технологических процессов получения полимерных порошковых покрытий являются: высокий коэффициент использования ППК (до 98%); резкое сокращение технологического цикла нанесения и формирования покрытий, что позволяет повысить производительность труда; получение однослойных покрытий с повышенной долговечностью; резкое сокращение материальных и энергетических затрат, а также производственных площадей; отсутствие в составе порошковых композиций растворителей, приводящее к улучшению экологической ситуации и снижению пожаро- и взрывоопасности окрасочных производств; длительное хранение и удобная их транспортировка. Основными потребителями порошковых покрытий являются машиностроение и энергетика, химическая и нефтегазовая промышленность, а также многие другие отрасли современного производства [1].

Полимерные порошковые покрытия находят широкое применение для антикоррозионной и декоративной защиты изделий из металлов и их сплавов, пластических масс, стекла, керамики и многих других материалов. Условия сборки, монтажа и эксплуатации готовых изделий и конструкций вызывают необходимость разработки прогрессивных технологий нанесения покрытий и комплекса высокопроизводительного специализированного оборудования для их реализации. Важной проблемой является нанесение порошковых покрытий на поверхности различных материалов в нестационарных (полевых) условиях, например, на крупногабаритные изделия, дорожные покрытия и т.п. Поэтому вопросы, связанные с изучением энергоэкономичных технологий и многофункционального оборудования для нанесения покрытий в стационарных и нестационарных условиях на поверхности различных по природе материалов, являются чрезвычайно актуальными.

К числу основных промышленных способов получения порошковых покрытий относятся нанесение ППК в псевдооживленном слое, в электростатическом поле, струйные, газотермические и комбинированные способы напыления [1-3].

При изучении дисциплин «Общее материаловедение и технологии материалов» и «Новые материалы и технологии» студенты КНИТУ-КАИ знакомятся с традиционными и перспективными технологиями и оборудованием для нанесения защитно-декоративных и других функциональных покрытий, в том числе с комбинированными технологиями и оборудованием, разработанными на кафедре «Материаловедение, сварка и производственная безопасность». Данная технология и устройство могут быть использованы в машиностроении и других отраслях промышленности для получения покрытий различного функционального назначения (световозвращающих, диэлектрических, защитно-декоративных, теплостойких, атмосферостойких и т.п.)

Известны серийно выпускаемые промышленные установки для электростатического и газопламенного напыления порошковых композиций. Наряду с достоинствами указанные технологии нанесения покрытий имеют ряд недостатков. Основной задачей, которая решалась при разработке многофункционального устройства, являлось получение качественных покрытий на поверхности металлических и неметаллических материалов в стационарных и нестационарных условиях путем последовательного проведения необходимых технологических операций. Эффективность применения разработанного устройства заключается в увеличении интенсивности процессов теплообмена между потоком горячего воздуха и частицами порошковой композиции, повышении качества покрытия и расширении его технологических возможностей путем последовательного проведения стадий распыления, оплавления, растекания и ускоренного процесса пленкообразования полимерных порошковых композиций на поверхности металлических и неметаллических материалов.

В устройстве для нанесения полимерных порошковых покрытий электрогазопламенным способом, содержащем рукоятку со смонтированным на ней зарядным элементом, ствол с центральным каналом внутри для потока распыляемой порошковой композиции, узел нагрева потока воздуха, новым является то, что центральный канал внутри ствола выполнен в виде керамической трубки с антифрикционным покрытием внутри, узел нагрева потока воздуха включает корпус с расширяющимся входным и сужающимся выходным участками, на выходе которого имеется выходной насадок, внутри корпуса установлен тороидальный коллектор с рядом отверстий, оси которых направлены вдоль потока для равномерного распределения воздуха вдоль центральной трубки. За тороидальным коллектором установлены, по меньшей мере, два ряда проволочных нагревателей, расположенных взаимоперпендикулярно относительно оси корпуса. На выходной насадке установлен инфракрасный излучатель, содержащий съемный корпус, коаксиально расположенный относительно внешней стенки выходного насадка с образованием кольцевой полости, закрытой со стороны движения потока и открытой со стороны выхода потока, сообщенной с источником газа, внутри кольцевой полости установлено керамическое кольцо с рядом отверстий малого диаметра для обеспечения беспламенного горения газовой смеси. По внутреннему диаметру выходного насадка выполнены наклонные винтообразные канавки, расположенные под углом 15-18° относительно продольной оси, для обеспечения интенсификации процесса теплообмена между частицами порошковой композиции и потоком горячего воздуха за счет вращательного движения этого потока.

На рисунке представлена схема устройства для нанесения покрытий из полимерных порошковых композиций. Устройство содержит рукоятку 1 со смонтированным на ней зарядным элементом 2, курок 16, ствол 3 с центральным каналом внутри для потока распыляемой порошковой композиции, выполненным в виде керамической трубки 4 с антифрикционным

покрытием внутри. Узел нагрева потока воздуха содержит корпус 5, с расширяющимся входным и сужающимся выходным участками, на выходе которого имеется выходной насадок 8. Внутри корпуса 5 смонтирован тороидальный коллектор 6 с рядом горизонтальных отверстий для равномерного распределения воздуха вдоль керамической трубки 4. За тороидальным коллектором 6 установлены, по меньшей мере, два ряда проволочных нагревателей 7, расположенных взаимоперпендикулярно относительно оси корпуса 5. На выходном насадке 8 установлен инфракрасный излучатель, содержащий съемный корпус 9, коаксиально расположенный относительно внешней стенки выходного насадка 8 с образованием кольцевой полости, закрытой со стороны движения потока и открытой со стороны выхода потока, сообщенной с источником газа. Внутри кольцевой полости установлено керамическое кольцо 10 с рядом отверстий 11 малого диаметра для обеспечения беспламенного горения газовой смеси. По внутреннему диаметру выходного насадка 8 выполнены наклонные винтообразные канавки 12, расположенные под углом 15-18° относительно продольной оси для обеспечения интенсификации процесса теплообмена между частицами порошковой композиции и потоком горячего воздуха за счет вращательного движения этого потока.

Порошково-воздушная смесь (ПВС) из порошкового питателя 13 эжекторным насосом 17 при открытом клапане узла предварительного нагрева 14 порошково-воздушной смеси подводится на вход зарядного устройства и через его ствол 3 подается на вход центральной керамической трубки 4. Предварительно нагретая ПВС попадает в выходной насадок 8 с винтообразными канавками 12 и, встречаясь внутри с потоком горячего воздуха, приобретает вихревое движение для интенсификации теплообменных процессов порошковых частиц в потоке горячего воздуха. Оплавленные частицы полимерной порошковой композиции, попадая на поверхность изделия, нагретого потоком горячего воздуха и инфракрасного излучения, растекаются по поверхности, образуя расплав, и под воздействием инфракрасных излучений подвергаются ускоренному пленкообразованию. Осуществление переноса частиц полимерных порошковых композиций к поверхности изделия обеспечивает последовательное выполнение следующих стадий технологического процесса: распыление, оплавление, растекание и пленкообразование, не подвергая деструкции частицы полимерной порошковой композиции, при прохождении зоны повышенной температуры в устройстве газопламенного напыления.

В разработанном устройстве обеспечивается предварительный нагрев ПВС перед зарядкой порошковых частиц, которые затем смешиваются с потоком горячего воздуха узла нагрева в сужающемся сопле с образованием вихревого движения с целью интенсификации теплообмена порошковых частиц с потоком горячего воздуха для последовательного проведения стадий распыления, оплавления и растекания частиц на покрываемой поверхности с одновременным воздействием электромагнитных волн инфракрасного диапазона, обеспечивающих ускоренный процесс пленкообразования (формирования) полимерной порошковой композиции.

Таким образом, устройство позволяет увеличить интенсивность подачи потока, повысить качество покрытия и расширить технологические возможности установки путем последовательного проведения стадий распыления, оплавления, растекания и ускоренного процесса пленкообразования покрытия.

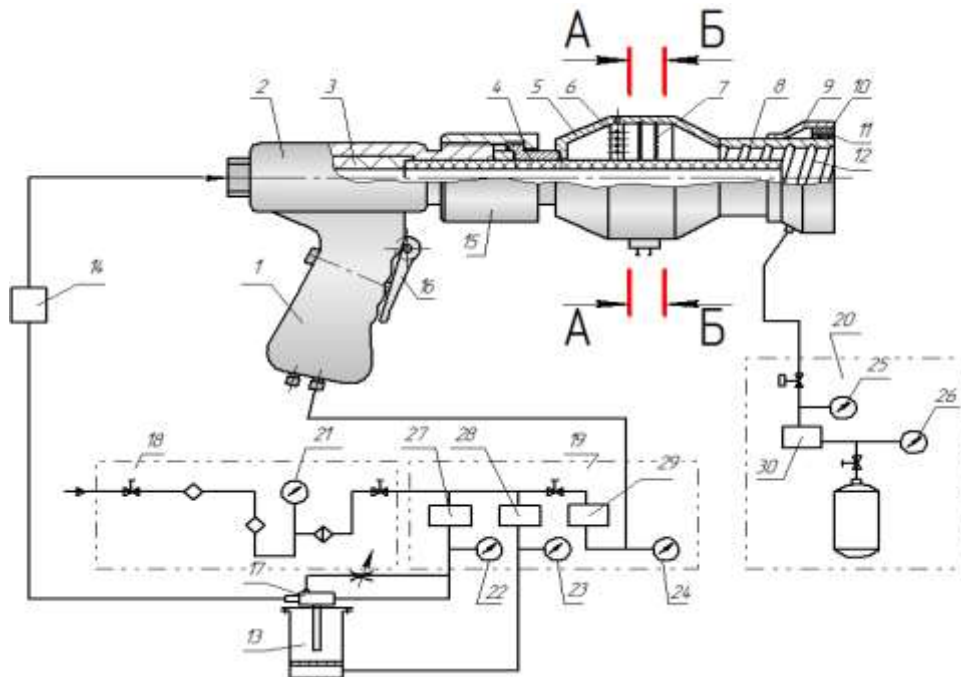


Рис.1. Устройство для нанесения покрытий комбинированным электрогазоплазменным способом: 1 – рукоятка; 2 – зарядный элемент; 3 – ствол; 4 – керамическая трубка; 5 - корпус узла нагрева; 6 – тороидальный коллектор; 7 – проволочные нагреватели; 8 – выходной насадок; 9 – корпус инфракрасного излучателя; 10 – керамическое кольцо инфракрасного излучателя; 11 – отверстия в керамическом кольце; 12 – винтообразные канавки; 13 – порошковый питатель; 14 – узел предварительного нагрева; 15 – муфта присоединительная; 16 - курок; 17 – эжекторный насос; 18 - блок подготовки воздуха; 19 – пневматическая панель; 20 – газовый блок; 21, 22, 23, 24 -манометры; 27, 28, 29, 30 - регуляторы давления.

Используя предложенную многофункциональную модульную установку, можно реализовать следующие вспомогательные и основные операции технологического процесса:

- осушение, подогрев обрабатываемой поверхности с использованием как тепла нагретых газов, так и инфракрасного излучателя;
- напыление полимерных порошковых композиций на предварительно нагретую поверхность (пневмонапыление);
- радиационное напыление ППК, когда нагрев, расплавление частиц порошка, а также термообработка материала покрытия производится с использованием лучистой энергии торцевого нагревательного элемента;
- термонапыление частиц ППК, расплавленных в рабочих полостях пистолета-распылителя при тепловом взаимодействии их либо с продуктами сгорания топлива, либо с электронагревательными элементами;
- термогазоэлектростатическое напыление ППК, при этом в дополнение к предыдущему способу осуществляется зарядка частиц порошка и осаждение их на обрабатываемой поверхности;

- последующая термообработка изделия материала покрытия с использованием нагретых в пистолете-распылителе газов, либо инфракрасного излучателя или обоих этих способов.

Таким образом, при изучении дисциплин «Общее материаловедение и технологии материалов» и «Новые материалы и технологии» студенты знакомятся с конструкцией и принципом работы многофункциональной модульной установки, с использованием которой можно реализовать несколько способов напыления ППК и формирования (пленкообразования) покрытий на их основе с учетом природы и характеристик композиции, габаритов, геометрии и условий эксплуатации изделий, а также ряда других факторов. Выбор соответствующих способов напыления, нагрева поверхности изделий и последующей термообработки следует производить с учетом показателей качества покрытий, затрат материалов и энергоресурсов.

#### Перечень ссылок

1. Галимов Э.Р., Зверев Э.В., Тукбаев Э.Е., Галимова Н.Я., Курынцев С.В. Полимерные порошковые покрытия специального назначения. - Казань: Офсет Сервис, 2012. - 164 с.
2. Galimova N. Ya., Galimov E.R. Technology application of polymer powder coatings special electrostatic methods. Journal of international scientific publications: Materials, Method and Technologies. Bulgaria, 2013. Vol.7. Part 3. - P. 115-122.
3. Федяев В.Л., Моренко И.В., Сираев А.Р., Галимов Э.Р., Гимранов И.Р., Фазлыев Л.Р. Многофункциональная установка для нанесения полимерных порошковых покрытий. Материалы Международной научно-технической конференции «Инновационное технологическое оборудование, инструменты и материалы в машиностроении». – Казань: 2014. – С. 145-147.



## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗНАНИЙ ПО НОВЫМ ДИСЦИПЛИНАМ ПРОЕКТА MMATENG В НАУЧНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ МАГИСТРАТУРЫ КНИТУ-КАИ**

**Ильинкова Т.А.<sup>1</sup>, Куртаева Ф.Н.<sup>2</sup>, Черноглазова А.В.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>д.т.н., профессор КНИТУ-КАИ, Казань, Россия, (pochta20006@bk.ru)

<sup>2</sup>к.т.н., доцент КНИТУ-КАИ, Казань, Россия, (kurtaeva@yandex.ru)

<sup>3</sup>к.т.н., доцент КНИТУ-КАИ, Казань, Россия, (alevtinac@mail.ru)

В настоящий момент реформы, проводимые в Российской высшей школе, привели к широкому внедрению 2-х ступенчатого образования. Особенно важна 2-ая ступень для научно-исследовательских университетов, так как, согласно зарубежному опыту, именно магистратуры обеспечивают основную часть научных публикаций ВУЗов. Магистратура по материаловедению в КНИТУ-КАИ появилась в 90-х годах, но ее становление протекало медленно, и в настоящее время имеется весьма незначительный опыт в организационном и методическом аспектах 2-ой ступени высшего образования. Поэтому изучать зарубежный опыт для нас весьма актуально, с тем, чтобы минимизировать применение метода «проб и ошибок», которому свойственны большие потери времени, энергии и ресурсов.

Направление магистратуры в КНИТУ-КАИ формируется в соответствие с требованиями национального образовательного стандарта ФГОС-3. Профиль магистерской подготовки в рамках конкретного направления, т.е. направленность основной образовательной программы на конкретный вид и (или) объект профессиональной деятельности, создается в соответствии с потребностями региона и учитывает направления научной деятельности преподавателей кафедры. Магистратура кафедры материаловедения проводит подготовку в рамках линии исследования «Перспективные конструкционные материалы и высокоэффективные технологии».

Руководитель программой специализированной подготовки в магистратуре (термин из Приложения к письму Минобразования России от 26.06.2003 N 14-55-84ин/15) осуществляет разработку учебного плана магистерской программы; руководит реализацией общенаучной содержательной части магистерской программы; определяет содержание блока специальных дисциплин; контролирует качество подготовки магистрантов по программе в целом; выполняет общее руководство научно-исследовательской практикой магистрантов; проводит экспертную оценку и корректировку тематики магистерских диссертаций; организует защиту магистерских диссертаций; осуществляет координацию и контроль деятельности научных руководителей магистрантов; готовит проекты приказов о назначении научных руководителей магистрантов, о переводе на следующий курс и об отчислении, проекты стипендиальных приказов. Руководителем магистерской программы на кафедре материаловедения является заведующий кафедрой.

Учебный план магистерской подготовки направлен на успешное освоение магистрантом будущей области его деятельности. Согласно ФГОС-3 в «технических» магистратурах предусматриваются следующие виды деятельности: научно-исследовательская, проектно-конструкторская, расчетно-проектная, производственно-технологическая, научно-педагогическая, организационно-управленческая.

После завершения освоения учебного плана магистрант должен публично защитить диссертацию –научную работу, выполняемую на базе экспериментальных и теоретических результатов, полученных студентом самостоятельно за время учебы в магистратуре. Диссертационная работа магистра является итогом оригинальных научных исследований, связанных с разработкой конкретных экспериментальных и теоретических задач в соответствующей области. Результаты самостоятельных обобщений по магистерской

диссертации как правило предварительно апробированы на научных конференциях в виде выступлений и научной публикации (тезисов конференций).

Университет типа национальный исследовательский, к которому относится КНИТУ-КАИ, имеет достаточно степеней свободы, чтобы сформировать магистерские образовательные программы, соответствующие его опыту, традициям и задачам. Однако многие возможности до сих пор не реализованы.

Так технологии обучения магистрантов мало чем отличается от технологии подготовки специалистов и бакалавров. С магистрантами проводятся аудиторные занятия (лекции, лабораторные работы), однако дисциплины, читаемые в индивидуальном порядке, полностью отсутствуют. Дисциплины, которые предлагает проект MMATENG будут представлены в вариативной части учебного плана. Однако в связи с введением в ближайшем будущем требований стандарта ФГОС-3+ создание учебного плана с дисциплинами проекта откладывается минимум на полгода.

Из-за малочисленности студенческих групп магистерской подготовки в университете не отработана схема, по которой магистрант может подобрать себе тот набор дисциплин, который более всего соответствует профилю его научной работы. При этом в последние два года потеряна практика 90-х годов составления индивидуальных планов магистранта, в который включали не только план выполнения научной работы, но и перечень изучаемых дисциплин по выбору. Однако при этом перечень дисциплин, по которым учебным управлением организовывались групповые занятия, был весьма ограничен. Основной блок технических дисциплин вел сам руководитель магистранта, без нагрузки. В настоящее время нагрузка на проведение всех аудиторных часов выделяется, и в целях экономии средств все занятия ведутся только в группе.

Схема двухступенчатого высшего образования применяется во многих зарубежных университетах. Особенно успешно и широко эта схема используется в США, Англии, Канаде. Эти страны имеют многолетний опыт и мощный корпус ученых (преподавателей), что позволяет им «возглавлять» научно-технический прогресс.

Анализ ряда диссертаций магистров, выполненных в университетах Европы (Германии, Англии) на соискание ученого звания Master of Science in Materials Science Engineering показывает, что магистерская диссертация в области материаловедения не претендует на серьезную теоретическую работу, а представляет собой труд, автор которого достаточно серьезно овладел методологией научного исследования, навыками экспериментальной работы с применением достаточно большого разнообразия методов исследования материалов (от рентгеноструктурного анализа и электронной микроскопии до механических испытаний). Результаты экспериментальной работы, как правило, тщательно анализируются и сопоставляются с научными работами других авторов. Объем экспериментальной главы соответствует объему соответствующих глав кандидатской диссертации в России и даже больше. Однако в кандидатской диссертации таких глав обычно не менее двух (часто три). Кроме того, для магистерской диссертации характерен достаточно глубокий обзор литературы и обоснование достоверности полученных результатов (хотя и небольших, но научных).

Эффективность работы магистратуры, по мнению авторов, напрямую зависит от возможности продолжения учебы в аспирантуре (третий уровень подготовки) в этом же вузе, а также возможности защиты кандидатской диссертации в диссертационном совете, работающем либо в этом же вузе, либо в вузе, расположенном территориально относительно недалеко, и с которым есть научные связи преподавателей. Это способствует повышению целенаправленности исследовательской работы магистранта, повышению качества и количества публикаций магистранта, его диссертации.

Поэтому отсутствие аспирантуры по материаловедению в КНИТУ-КАИ безусловно снижает эффективность научной работы магистрантов. Кроме того, в настоящее время в России неуклонно сокращается количество диссертационных советов по защите кандидатских диссертаций (докторских PhD) в целом, и по материаловедению, в частности. Тем самым создается ряд препятствий, в том числе и финансовых, по защите уже готовых кандидатских диссертаций, в состав которой вошли результаты и магистерской работы.

Тем не менее, многие магистранты, окончившие магистратуру по направлению материаловедение по нашей кафедре, поступают и успешно заканчивают аспирантуру по специальности «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки ЛА», поскольку кафедра работает в составе института авиации, наземного транспорта и энергетики и ведет научную работу в области авиационного двигателестроения и энергетического машиностроения. Продолжение исследований, начатых в магистратуре, еще 3-4 года без изменения темы способствует экономии времени (не надо «внедряться» в новую тему при переходе из магистратуры в аспирантуру, сокращается время на обзор литературы) возрастает объем и качество создаваемой интеллектуальной продукции.

### **Заключение**

Магистратура в Российской высшей школе и в КНИТУ-КАИ переживает непростой период становления и является пока недостаточно освоенной формой обучения для научно-педагогической общественности университета, хотя необходимость ее развития в настоящее время понимают как преподаватели, так и руководители. Ускорению этого процесса может способствовать освоение опыта организационно-методической работы зарубежных ВУЗов - участников проекта. Представляет большой интерес опыт ведущих участников – партнеров в области организации научных исследований магистрантов, подготовке и защите магистерских диссертаций.



## **РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТА «TEMPUS-ММАТЕНГ» В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЕ «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ» В КНИТУ-КАИ**

**Куртаева Ф.Н.<sup>1</sup>, Черноглазова А.В.<sup>2</sup>, Ильинкова Т.А.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>канд. техн. наук, доцент КНИТУ-КАИ, Казань, Россия, (kurtaeva@yandex.ru)

<sup>2</sup>канд. техн. наук, доцент КНИТУ-КАИ, Казань, Россия, (alevtinac@mail.ru)

<sup>3</sup>док. техн. наук, профессор КНИТУ-КАИ, Казань, Россия, (pochta20006@bk.ru)

Разработка национальной структуры квалификаций является частью Болонского процесса. Болонский процесс охватывает 46 стран. Болонский процесс стимулирует реформирование и принятие ряда общих структур и инструментов. Процесс отличается гибкостью и позволяет охватить широкий ряд гибких путей, методов и возможностей обучения.

В результате могут быть разработаны национальные квалификационные рамки, которые отражают предусмотренные в Болонском процессе циклы курсов обучения и относящиеся к ним квалификации по содержательным параметрам элементов. Без ущерба для них национальные квалификационные рамки могут также в определенном объеме допускать иное проектирование учебных единиц и иначе ориентированное качественное описание, не связанное с европейскими квалификационными рамками, когда такое отклонение оправданно особо важными причинами /1/.

Участие нашего университета в проекте «TEMPUS-ММАТЕНГ» позволяет активнее реализовать интеграцию в европейскую систему образования в рамках Болонского процесса.

При реализации проекта были проанализированы полученные материалы для бакалаврской ступени подготовки и основная образовательная программа, учебно-методическое обеспечение ее дисциплин по направлению подготовки бакалавров «Материаловедение и технологии материалов» 150100.62 (22.03.01). Учебный план и календарный план подготовки бакалавров включает дисциплины близкие заявленным в проекте «TEMPUS-ММАТЕНГ» (распределение часов аудиторные/самостоятельная работа/ количество кредитов): «Общее материаловедение и технология материалов» (108/72/10), «Теория сплавов» (54/54/3), «Физико-химия материалов» (108/108/7), «Теория и технология процессов производства, обработки и переработки материалов и покрытий» (126/90/7), «Новые материалы и технологии» (126/126/8), «Методы исследования и моделирования материалов и процессов» (126/126/8), «Диагностика, контроль и управление качеством технологических процессов и материалов» (108/72/6).

Дисциплина «Общее материаловедение и технология материалов» образовательной программы по направлению 150100.62 (22.03.01), реализуемой в нашем университете, состоит из трех модулей: 1.- неметаллические материалы (1-9 неделя 5 семестра), 2.- металловедение (10-18 неделя 5 семестра) и 3. – технология материалов (1-18 неделя 6 семестра). Отличие содержания материаловедческого модуля рабочей программы дисциплины заключается в порядке представления информации и в более широком освещении видов материалов. Традиционная на кафедре «Материаловедение, сварка и производственная безопасность» (МС и ПБ) подача материала начинается с теоретических основ строения материала, затем - влияние строения на механические, технологические свойства материалов. Применение материалов рассматривается, как следствие состава, строения и свойств. В рабочей программе по соответствующей дисциплине Basics of material science incl. fatigue behavior (BA) (автор Jan Ivens) наука о материалах представлена с точки зрения теории прочности, механического поведения материалов, изучения возможных причин разрушений применительно к определенной группе изделий. Очевидно, такой подход

в большей степени мотивирует изучение материаловедения и привлекает большой познавательный интерес и может быть применен при подготовке бакалавров для узкой отрасли промышленности. Например, производство двигателей летательных аппаратов. Вопросы, связанные с изучением выносливости, надежности наши бакалавры изучают, в курсах «Диагностика, контроль и управление качеством технологических процессов и материалов» и «Механика материалов и основы конструирования».

Материалы, представленные в слайдах «Light weight materials for transport» доступны для бакалаврского уровня. Они включают сведения о конструкции изделия, применяемых металлических и полимерных материалах, а также их механических свойствах. Данная форма презентации курса материаловедения демонстрирует подход в подготовке специалистов ориентированный на конкретную отрасль промышленности, в частности в автомобилестроении. Материалы используются в курсе «Общее материаловедение и технология материалов» для студентов направления 150100.62, в курсе «Материаловедение» для направления «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» (190600.62). Презентационные материалы «KUL\_materials selection» и «Class 1 introduction to Materials Selection» используются в дисциплине «Общее материаловедение и технология материалов» при решении практических задач по выбору материалов во время проведения практических занятий, а также при выполнении самостоятельной работы.

Презентационные материалы из папки «Material selection»: Class 2 Materials Property Charts - Material Indices – Examples, Class 3 Shape - Processes - Eco-design, Class 5 example\_case study на наш взгляд, дают более углубленные знания и могут быть использованы при подготовке магистров.

Следующий пример реализации проекта - дисциплина «Теория и технология процессов производства, обработки и переработки материалов и нанесения покрытий» (126/90/7), (6,7 семестр), входит в состав вариативной части профессионального цикла. Основной целью изучения дисциплины является формирование у будущих бакалавров технологического мышления на основе знания технологических процессов производства материалов и покрытий, а также основ их проектирования. Основными задачами дисциплины являются: ознакомление студентов с многофункциональными критериальными системами комплексной разработки технологических процессов их получения и обработки; управления структурой и характеристиками конкретных групп материалов, полуфабрикатов и изделий; освоение практики расчетов основных технологических параметров и технологической оснастки для процессов порошковых технологий, получения покрытий, литья, переработки пластмасс. Дисциплина базируется на знаниях, полученных при изучении следующих дисциплин: «Физическая химия», «Метрология, стандартизация и сертификация», «Общее материаловедение и технология материалов», «Технологическая подготовка производства», «Новые материалы и технологии». Дисциплина включает модули (темы для изучения): модуль 1. Теоретические основы технологических процессов литья (литейные свойства расплавленного металла; гидравлические и тепловые процессы в литейной форме; теория кристаллизации сплавов; принципы проектирования литниковых систем). В рамках модуля 2 «Переработка полимерных материалов» рассматриваются вопросы по технологии нанесения покрытий на основе полимерных порошковых материалов. Модуль 3 - «Порошковая металлургия» (основные методы производства порошков и волокон из металлических и неметаллических материалов и методы их контроля; методы формования порошков и волокон; спекание материалов). В 3 модуле студенты знакомятся с методами производства порошков, в том числе нанопорошков, изучают общую характеристику наноматериалов и нанотехнологий. Модуль 4 - «Технологические процессы нанесения неорганических покрытий» (физико-химические свойства поверхности твердого тела;

газотермические процессы нанесения неорганических покрытий; управление формированием и свойствами газотермических покрытий; методы вакуумного конденсационного нанесения неорганических покрытий; комбинированные процессы нанесения защитных покрытий). Материалы курса «Методы нанесения покрытий» (42/33/3), для магистратуры проекта могут быть использованы в данном разделе.

В проекте MMATENG существует дисциплина «Технология наноматериалов» (75/50/5) для ступеней бакалавриат и магистратура. Целями курса «Технология наноматериалов» являются: приобретение знаний о современных и перспективных направлениях создания и технологических решений эффективного управления структурой и свойствами наноструктурных материалов; подготовка выпускников к научным исследованиям для решения задач, связанных с разработкой инновационных методов получения и обработки наноматериалов.

Дисциплина «Технология наноматериалов» включает в себя следующие разделы:

1. Введение. Общая характеристика нанотехнологий и наноматериалов.
2. Методы получения нанокристаллических порошков.
3. Получение нанокристаллических материалов компактированием порошков.
4. Кристаллизация объемно-аморфизирующихся сплавов. Методы нанесения наноструктурных покрытий.
5. Деформационные методы получения объемных наноструктурированных материалов.

6. Структура и свойства объемных наноматериалов.

7. Устойчивость наноструктурных материалов к внешним воздействиям.

8. Методы исследования наноструктурных и наноструктурированных материалов.

9. Применение наноматериалов и наноструктурированных покрытий.

Презентационные материалы данного курса тем 1-3 могут быть использованы в дисциплине «Теория и технология процессов производства, обработки и переработки материалов и нанесения покрытий». Материалы по темам 4-9 могут быть использованы на следующем уровне образования (магистерская подготовка) в дисциплине «Наноматериалы и технологии» (48/96/4).

В исследовательской работе при решении задач по выбору материалов студентами используется программа EduPack, которая содержит гигантскую базу данных (включая онлайн ресурсы) и позволяет найти информацию о материалах, о его свойствах, производителях и стоимости на мировом рынке. Данный программный продукт предоставлен кафедре «Материаловедение, сварка и производственная безопасность» (МСИПБ) в образовательных целях в рамках реализации проекта «Tempus-Mmateng» и установлен в компьютерных классах для свободного доступа и пользования студентов.

Использование в образовательной программе предоставленных проектом MMATENG программных ресурсов, презентационных материалов, учебных пособий М. Ашби, М. Ашби и В. Д. Каллистер, К.Г. и М.К. Будински и др. авторов на английском языке, несомненно, повысит уровень преподавательского мастерства, и уровень знания технического английского языка.

#### Перечень ссылок

1. Болонский процесс: Европейские и национальные структуры квалификаций /Под научной редакцией В.И. Байденко. - Издательство: исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов. Москва 2009г.





**СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ****Черноглазова А.В.<sup>1</sup>, Байгалиев Б.Е.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>канд. техн. наук, доцент КНИТУ-КАИ, Казань, Россия, (alevtinac@mail.ru)<sup>2</sup>док. техн. наук, профессор КНИТУ-КАИ, Казань, Россия, (baigaliev@rambler.ru)

Известны способы переработки полимерных материалов и изготовление изделий из них, которые можно классифицировать на основании физического состояния материала в момент формования: формование из полимеров, находящихся в вязко-текучем состоянии, (литье под давлением, экструзия, прессование и др.); формование из полимеров, находящихся в высокоэластическом состоянии, обычно с использованием листов или пленочных заготовок (вакуумформование, пневмоформование, горячая штамповка и др.); формование из полимеров, находящихся в твердом (кристаллическом или стеклообразном) состоянии, основанное на способности таких полимеров проявлять вынужденную высокоэластичность (штамповка при комнатной температуре, прокатка и др.).

Получение изделий перечисленными способами связано с высокой материалоемкостью и большими энергозатратами [1, 2].

Предметом наших исследований является возможность применения порошковых и гранулированных полимерных материалов для получения изделий с малыми удельным весом и энергозатратами. Предлагаемый способ изготовления изделий из порошковых полимерных материалов заключается в холодном прессовании заготовок в закрытой форме, последующем их спекании и охлаждении. При этом спекание заготовок проводят при температуре ниже температуры плавления полимера. Предлагаемый способ позволяет изготавливать изделия из порошковых полимеров даже в тех случаях, когда температура плавления полимера близка к температуре деструкции.

В качестве полимерного порошка использовали пентапласт – бесцветный термопласт, со степенью кристалличности 20-30%, плотностью 1.4 г/см<sup>3</sup>, температурой плавления 180<sup>0</sup>С, твердостью по Бринеллю 80-110 Мпа [3].

Способ получения пористой структуры композиционного материала, заключается в изготовлении изделий из порошковых полимерных материалов холодном прессовании заготовок в закрытой форме, последующем их спекании и охлаждении. При этом спекание заготовок проводят при температуре ниже температуры плавления полимера. Предлагаемый способ позволяет изготавливать изделия из порошковых полимеров даже в тех случаях, когда температура плавления полимера близка к температуре деструкции. [3].

Для исследования влияния  $t_{сп}$  на механические свойства изделий из пентапласта полученных по данной технологии и их материалоемкость, были изготовлены образцы, температура спекания которых составляла  $0,8 \cdot t_{пл}$ ,  $0,66 \cdot t_{пл}$ ,  $0,4 \cdot t_{пл}$ , где  $t_{пл}$  -температура плавления полимера.

Материалоемкость изделий была охарактеризована двумя независимыми способами: определение пористости поверхности образцов, и определение плотности образцов.

Для определения пористости структуры образцов была исследована с помощью оптического микроскопа Axiovert 200. На рисунке 1 представлены полученные фотомикрографы, снятые при 50× увеличении. Количественный анализ изображений был проведен с использованием программного обеспечения Image Processing System (IPS). Данная программа позволяет определить пористость, количество пор на единицу площади, их средний эквивалентный радиус  $R_{ср}$ . Пористость  $\varepsilon$  определили по формуле:  $\varepsilon = \frac{F_{\Sigma пор}}{F_{обр}}$ , где

$F_{обр}$  – площадь образца,  $F_{\Sigma пор}$  – суммарная площадь пор.

Фотомикрограф образца с  $t_{\text{сп}}=0,4 \cdot t_{\text{пл}}$  (рисунок 1в) при обработке программой IPS представлена на рисунке 2.

Результаты количественного анализа структуры поверхности образцов представлены в таблице 1. Из таблицы видно, что с увеличением температуры спекания пористость снижается, уменьшается количество пор на единицу площади, при этом средний эквивалентный радиус остается постоянным в пределах стандартного отклонения.

Для образца с  $t_{\text{сп}}=0,66 \cdot t_{\text{пл}}$  была также определена плотность. Плотность определяли dilatометрическим методом. Измерения плотности образца при комнатной температуре проведены методом гидростатического взвешивания на аналитических весах АДВ-2М. В качестве иммерсионной жидкости использован изооктан эталонный ГОСТ 12433-83. Предел допускаемой основной погрешности не превышал 0,1%.

В результате измерений было определено, что плотность этого образца составила  $0,94 \cdot \rho_0$ , где:  $\rho_0$  – плотность образца, полученного при температуре  $t_{\text{сп}} = t_{\text{пл}}$ .

Обе методики оценки материалоемкости показывают, что предлагаемый способ изготовления при  $t_{\text{сп}}=0,66 \cdot t_{\text{пл}}$  позволяет уменьшить материалоемкость изделий из порошковых полимерных материалов на 3-6%.

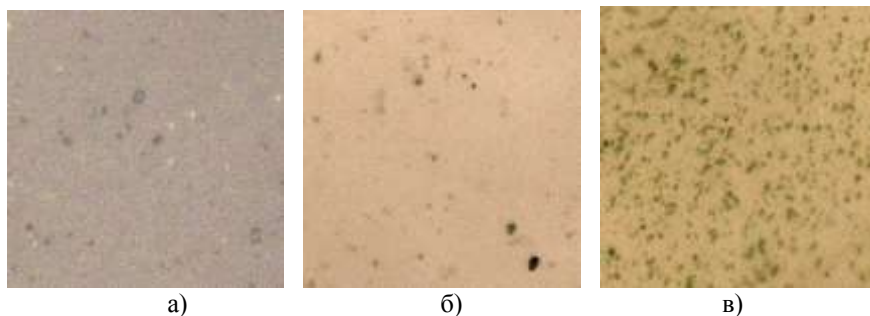


Рис.1. Фотомикрографы образцов ( $50\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ ): а) образец с температурой спекания  $0,8 t_{\text{пл}}$ ; б) образец с температурой спекания  $0,66 t_{\text{пл}}$ ; в) образец с температурой спекания  $0,4 t_{\text{пл}}$ .

Отличия в результатах полученных разными методиками можно объяснить тем, что измерение плотности производилось в общем объеме, а анализ пористости на поверхности образца, где  $t_{\text{сп}}$  вероятно была выше, чем в глубине образца, в результате чего спекание было более сильным и количество пор меньшим, чем в объеме.

Снижение температуры спекания приводит к увеличению пористости материала, что снижает материалоемкость, но в тоже время приводит к снижению твердости изделий. Использование  $t_{\text{сп}}=0,66 t_{\text{пл}}$  для изготовления изделий из пентапласта позволяет снизить материалоемкость минимально ухудшая механические свойства изделия.

Данная разработка защищена патентом РФ №2404055 «Способ изготовления изделий из порошковых полимерных материалов».

На рисунке 3 рассмотрено влияние температуры спекания  $t_{\text{сп}}$  на микротвердость изделий Нц. Микротвердость Нц полученных образцов определена на микротвердомере НХ 1000-ТМ.

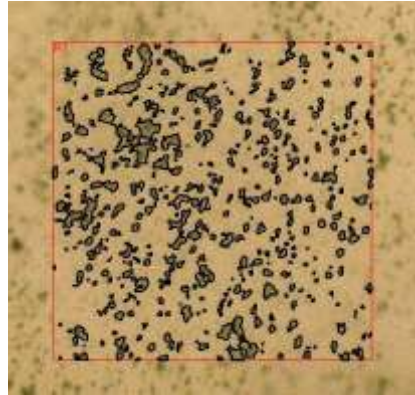


Рис. 2. Фотомикрoграф образца изображенного на рисунке 1в при обработке программой IPS.

Таблица 1 – Количественный анализ структуры поверхности образцов.

Температура спекания $t_{cn}$ [ $^{\circ}$ C]	Количество пор на единицу площади [шт/мм <sup>2</sup> ]	Средний эквивалентный радиус, $R_{cp}$ [мкм]	Пористость, $\varepsilon$ [%]
72 (0,4 $t_{пл}$ )	$143,8 \cdot 10^3$	0,41	14,15
119 (0,66 $t_{пл}$ )	$33,4 \cdot 10^3$	0,44	2,98
144 (0,8 $t_{пл}$ )	$7,8 \cdot 10^3$	0,47	0,70

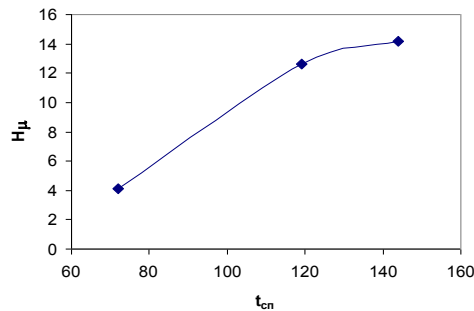


Рис.3. Влияние температуры спекания  $t_{cn}$  на микротвердость изделий Нц.

В качестве гранул применяли полиэтилен низкого давления (ТУ/TU 2211-145-05766801). Полиэтилен- бесцветный термопласт, плотность 0,95-0,97 Мг/м<sup>3</sup>, температура плавления 129-135<sup>0</sup>С. Показатель текучести расплава (при 190<sup>0</sup>С/2,16 кг) зависит от назначения полиэтилена и находится в широких приделах от 0,85 до 65 (г/10 мин).

Прессование осуществляется при давлении 3 МПа. Температура спекания 110-140<sup>0</sup>С. После спекания пресс-форма охлаждается до температуры стеклования полимера 30<sup>0</sup>С, пресс-форма раскрывается, изделие вынимается.

На рисунке 4 представлен внешний вид образцов полученных по данной технологии.

Изделие, полученное при температуре спекания  $t_{сп}$  ниже температуры текучести  $t_r$  полимера ( $t_{сп}=0,58 t_r$ ), имеет плотность образца  $\rho_{сп}=0,95 \cdot \rho_0$ , где:  $\rho_{сп}$  – плотность образца, полученного при температуре спекания  $t_{сп}$  ниже температуры текучести полимера,  $\rho_0$  – плотность образца, полученного при температуре спекания  $t_{сп}$  равной температуре текучести  $t_r$  полимера.

Изделие, полученное при температуре спекания равной температуре текучести полимера ( $t_{сп}=1,00 \cdot t_r$ ), имеет  $\rho_0 = 1,00$ .

На рисунке 5 представлены образцы, полученные при прессовании гранул уложенных в форму в один слой (давление-3МПа, 5 минут выдержки).

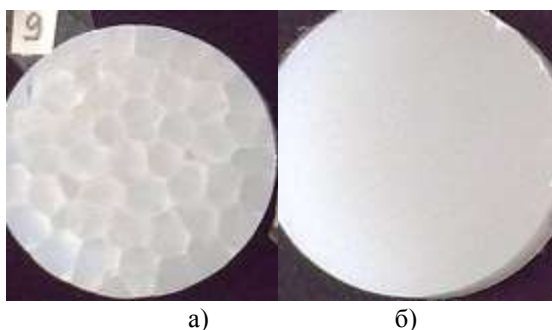


Рис. 4. Фотографии образцов: пористый образец (а), образец без пор (б); а)  $t_{сп}=0,58t_r$ , ( $110^{\circ}\text{C}$ )  $\rho_{сп}=0,95 \rho_0$  б)  $t_{сп}=1,00 \cdot t_{пл}$ , ( $190^{\circ}\text{C}$ )  $\rho_0=1,00$

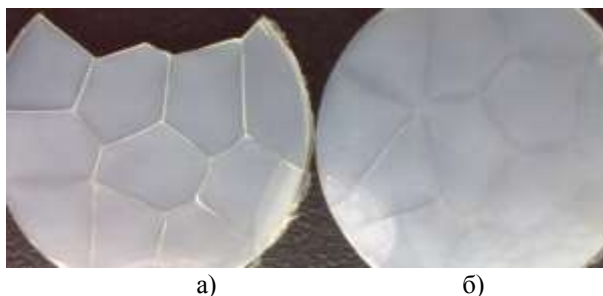


Рис. 5. Фотографии образцов: а)  $t_{сп}=0,77t_r$ , ( $133^{\circ}\text{C}$ ) б)  $t_{сп}=0,8 \cdot t_r$ , ( $140^{\circ}\text{C}$ )

Структура образцов была исследована с помощью оптического микроскопа Axiovert200. На рисунке 6 представлены полученные фотомикрографы, снятые при  $50\times$  увеличении.

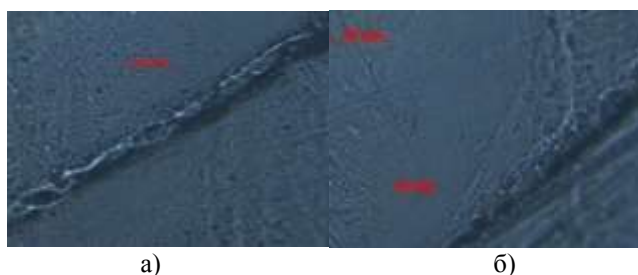


Рис. 6. Фотомикрографы образцов: а) образец с температурой спекания  $0,8 t_r$ ; б) образец с температурой спекания  $0,7 t_r$ .

На рисунке 6,а наблюдается наличие сварного шва, что и придает изделию повышенную прочность.

На способ получен патент РФ №2527049 «Способ изготовления изделий из гранулированных полимерных материалов».

Таким образом, предложен способ изготовления композиционных материалов с использованием изделий полученных из полимерных порошков и гранул, позволяющий уменьшить удельный вес. Данная технология может быть использована в дальнейших исследованиях и разработках при создании новых материалов.

#### Перечень ссылок

1. Справочник по пластическим массам, под ред. В.М. Катаева, 2 изд., т. 1, М., 1975;
2. Мулин Ю.А. Защитные покрытия и футеровки на основе термопластов, Л., 1984.
3. Мулин Ю.А., Ярцев И.К., Пентапласт, Л., 1975.
4. *Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П.* Теплопроводность смесей и композиционных материалов. Л.: Энергия, 1974.



## **HIGHER ENVIRONMENTAL EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT THROUGHOUT THE TEACHING DISCIPLINE “ENVIRONMENTAL MATERIALS”**

**Murtazina L.G.**

Vice-Head of International Department KNRTU-KAI, Kazan, Russia, (mourt@mail.ru)

**Abstract:** It is common knowledge that issues of Sustainable Development are gaining importance in everyday life. In the field of Materials Science and Engineering almost every aspect of material usage is now subject to environmental consideration. Engineers play a significant role to help achieving sustainable development throughout the world. It is impossible to be a professional in engineering area and ignore the environmental challenges and opportunities for their sustainable decisions. The main task of higher school is to equip society with professionals who can address our 21-st century sustainable living challenges. If the universities are eager to attract the brightest students and industry companies want to get high qualified employees who are equipped with appropriate knowledge and skills, then environmental education for sustainability is now recognized as essential. The author makes an accent on the urgent need for a transformation of engineering education globally through implementing environmental component within higher education institutions and in professional training programs.

**Keywords:** Engineering Education, Environmental Education, Sustainable Solutions, Sustainable Development, Rapid Curriculum Renewal, Durability, Machine Building Industry, Teaching Methodology of Materials Science, Environmental Materials.

The technological advances that have transformed our world over the last 20 years have been founded on developments in Materials Science and Engineering. Materials are evolving faster today than at any time in history; enabling engineers to improve the performance of existing products and to develop innovative technologies that will enhance every aspect of our lives. Materials Science and Engineering has become a key discipline in the competitive global economy and is recognized as one of the technical disciplines with the most exciting career opportunities. It is common knowledge that the social order for a transformation of graduate knowledge and capabilities comes from industry and prospective learners respectively. It is very important that the latest information about global systems and current and emerging strengths to address sustainability challenges are to be integrated into engineering education in a timely manner.

In order to meet the challenge of achieving sustainable development two initiatives are currently discussed:

- Development of a wide range of freely available, so called “Engineering Sustainable Solutions Programs” (ESSP) [1];
- Development of a rapid transition strategy for curriculum renewal in engineering education through curriculum renewal framework.

Materials science and Engineering is arguably the most important engineering discipline. Materials have always been important to the advance of civilization: entire eras are named after them. After evolving from the Stone Age through the Bronze and Iron Ages, now in the modern era we have vast numbers of tailored materials to make use of. We are really living in the Materials Age [2].

The field of Materials Science deals with all classes of materials from a unified viewpoint and with an emphasis on the connections between the underlying structure and the processing, properties, and performance of the material. A materials scientist studies how materials react when under different conditions and understands that all materials can be approached from a common set of

principles. Most fields in science and engineering are concerned in some way or other with materials, but only the field of materials science and engineering focuses directly on them.

For teacher it is very important to understand how Environmental Materials can be taught under the broad title of Materials Science; how it can be most effectively delivered to students; and how it might be assessed. Life Cycle Analysis is essentially a method of considering the entire environmental impact, energy and resource usage of a material or product [3]. It is often known as a 'cradle-to-grave' analysis and can encompass the entire lifetime from extraction to end-of-life disposal. Life cycle analysis can be an extremely effective way of linking many different aspects of the environmental impacts of materials usage.

Over last 7 years Kazan National Research Technical University has won 9 TEMPUS projects. Thanks to TEMPUS project «Modernization of two cycles (MA, BA) of competence-based curricula in Material Engineering according to the best experience of Bologna Process» (MMATENG) we have got a platform which through a transfer knowledge model provides us with mentoring and support from a wide range of experts and leading higher education institutions internationally. We have received advanced technological solutions such as «Granta Design» program which contains a comprehensive database for project teaching and Eco-Design. Using this program in Lab design activities it brings easier for students to develop ecological-professional competencies. It facilitates students to make assessment of the Eco-impact which a product could have throughout its life cycle or to select environmental materials, make sustainable decisions towards applying green technologies (see Figure 1).

The methods by which students obtain the information can vary, depending on the level of initiative expected from the students. It could be presented via conventional lectures, with supporting multi-media material. If students are given more time and responsibility for their learning, they could be required to undertake a literature survey, however with this method it is quite common for important information to be missed or not understood. The area of environmental materials presents an exceptionally good opportunity for other teaching and learning methods that are much more suited to the quite subjective and rapidly changing nature of the subject such as:

- Group discussion;
- Self-directed information review;
- Market research;
- Case-study work.

In order to make a transition to engineering education for sustainable development, it is critical to systematically address a number of common key elements (regardless of which academic institution) within the curriculum renewal process. Driving factors for undertaking a curriculum renewal process include the need to address industry and government demand for engineering graduates who are literate and competent in addressing sustainable development; the need to meet changing student expectations on course content (i.e. recruitment); and the need to respond in a critical timeframe of one decade. Table 2 comprises the identified key elements of Curriculum Renewal Framework [4].

It is critical that higher education institutions undertake curriculum renewal to make the transition to engineering education for sustainable development. The task of universities is to consider a range of incentive mechanisms for encouraging lecturers to commit to course renewal. Participation in TEMPUS projects can be used as a tool encouragement through funding opportunities for university staff.

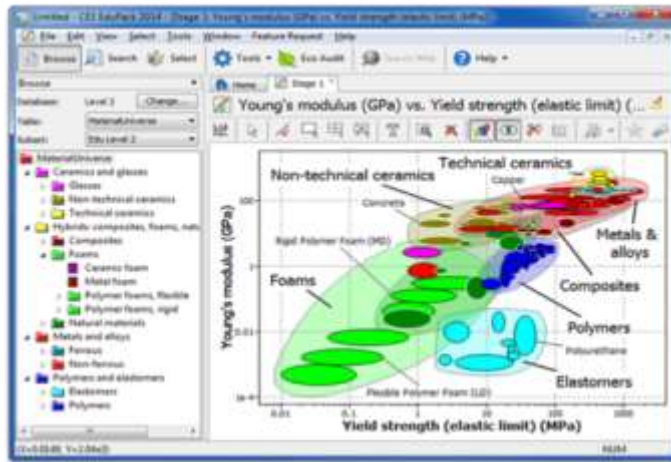


Fig. 1. Teaching Environmental Materials with Granta Design program

Table 1. – Curriculum Renewal Framework: Identified Key Elements

<p><b>Awareness Raising Activities:</b> Facilitate opportunities for staff and students to become aware of the current context of sustainability, through activities such as keynote lectures, keynote addresses, lunchtime seminars, media articles, and profiling of existing sustainability related initiatives and/or champions within the university.</p>
<p><b>Scoping Workshops with Key Staff:</b> Undertake scoping workshops involving academic staff and other collaborators within the university hierarchy, to work through a SWOT Analysis (strengths, weaknesses, opportunities and threats) and Gap Analysis relating to sustainability, across the program/s of focus. This includes consideration of the university's 'Graduate Attribute' requirements for graduating students and how sustainability knowledge and skills relate to these requirements.</p>
<p><b>Desktop Audit &amp; Classification of Programs:</b> Identify all areas that conflict with recognized sustainability principles, theory and application, through an assessment and classification of all courses in the program/s of focus. Map out where courses need to be further developed with embedded sustainability content, renewed, or replaced. Include the scoping of resource and timing requirements for existing course renewal and new course development/ replacement. This element facilitates planned and strategic incorporation of content across (breadth) and within (depth) program curriculum, in order for students to successfully transition in their exposure to sustainability content within their discipline area. It is a collective group, departmental, program and course planning initiative that depends on participation of program and course converters to scaffold the introduction of introductory, then detailed content on technologies and advancements appropriate to the discipline area. It is also critical that the audit and classification of programs acknowledges requirements for changes to course assessment and representation in course outlines.</p>
<p><b>New Curriculum - Existing Course Renewal (Integrated Approach)</b>  <b>Introductory Level:</b> Develop and embed sustainability content in a case study format, across first year courses in the program of focus. This needs a commitment from the first year teaching team with teaching support to embed materials into lecture/ tutorial/ workshop/ assignments/ laboratories/ site visits.  <b>Detailed (Intermediate – Advanced) Level:</b> Develop and embed content for those courses identi-</p>

fied as needing minor changes. For example, in a numerical methods course, this could involve bringing in programming that incorporates ‘efficiency’ calculations, which may not have been considered previously. Develop and embed content for those courses identified as needing major changes. Here it is important to address the issue of managing the lag time between training in sustainability content and the demand for graduates with this new knowledge and skill set. Planned and strategic integration of ‘detailed’ sustainability content will cater for such changing graduate skill requirements.

**New Curriculum - New Course Development/ Replacement (Flagship Approach)**

**Introductory Level:** Develop a common introductory course for first year students to ‘kick-start’ the transition process. This may comprise either replacement of a previous course, or development of an existing course.

This is also an opportunity to engage staff to begin their professional development in sustainable development content. This approach requires one or more ‘champion lecturers’ with teaching support.

**Detailed (Intermediate – Advanced) Level:** Develop new courses to cater for learning in new sustainability content areas, previously not addressed in the program, replacing courses that no longer cater for graduate employment. As for existing course renewal, it is important to address the issue of managing the lag time between training in sustainability content and the demand for graduates with this new knowledge and skill set. Planned and strategic development and replacement with intermediate to advanced sustainability content will cater for such changing graduate skill requirements.

**Outreach and Bridging (Recruitment):** Use courses as outreach and bridging material for students considering study in the field. First year courses could be promoted to high schools as an accelerated Year 12 course. Masters first year/ introductory core courses could also be promoted internally to other sectors within the university, and to international potential student audiences.

In KNRTU-KAI during realization TEMPUS project 9 Core Modules (taught by Department of Material Science, Welding and Manufacturing Safety) and 3 transferable modules (taught by Department of Economics and Management on Enterprise) were determined as targeted. Current curricula in Material Engineering was reviewed and analyzed. New and upgraded modules in Material Engineering are now in process.

List of references

- 1.Hargroves, K., Stasinopoulos, P., Desha, C. and Smith, M. (2007) Engineering Sustainable Solutions Program: Industry Practice Portfolio - E-Waste Education Courses, The Natural Edge Project, Australia.
- 2.Satish V. Kailas. Motivation and Highlights. /IISc, Bangalore. V1. -2004. – 4p. URL: [http://nptel.ac.in/courses/112108150/pdf/Course\\_Motivation\\_and\\_Highlights.pdf](http://nptel.ac.in/courses/112108150/pdf/Course_Motivation_and_Highlights.pdf). (дата обращения: 25.03.2015).
- 3.Sue M Alston, J. Cris Arnold, Environmental Impact of Pyrolysis of Mixed WEEE Plastics Part 2: Life Cycle Assessment, Environmental Science & Technology, - 2011, 45, p.21.
- 4.Paten, C., Hargroves K et al. (2005). Engineering Sustainable Solutions Program. The Importance of Sustainability in Engineering Education: a toolkit of Information and Teaching. The Natural Edge [Project (TNEP)].-14p.

## STRUCTURAL EVOLUTION AND PHASE TRANSFORMATION IN NANOQUASI-CRYSTALLINE Al-Fe-Cr ALLOY

**Yurkova A.<sup>1</sup>, Byakova A.<sup>2</sup>, Kravchenko A.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Doct of Tech. Science, Professor of National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine, (yurkova@iff.kpi.ua)

<sup>2</sup>Doct of Tech. Science, Professor, Institute for Problems in Materials Science, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, (byakova@mail.ru)

<sup>3</sup>Student of National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine (gara346@yandex.ua)

Nanoquasicrystalline Al-Fe-Cr based alloys, which belong to the group of metal matrix nanocomposite, show excellent balance between high strength and sufficient ductility [1, 2]. Compared to other commercial Al alloys, Al-Fe-Cr based alloys show better structural stability, making them promising to be employed at elevated temperatures and, therefore, attractive for industrial application in automotive and aircraft industries [1, 2]. These alloys are composed of icosahedral quasicrystalline particles (i-phase) with sizes about 100 nm embedded in  $\alpha$ -Al matrix [3]. However, quasicrystalline particles of i-phase presented in Al-Fe-Cr based alloys are of metastable nature, retaining in surrounding of  $\alpha$ -Al solid solution at heating up to ultimate temperatures. On this evidence detailed knowledge concerning the range of temperatures where i-phase particles survive in Al-Fe-Cr alloys of particular elementary composition is of great importance. In the present study, therefore, the kinetic parameters for structural evolution and phase transformation in water atomized Al-Fe-Cr based alloy have been examined by means of precise method of DSC technique and confirmed by the results of XRD analysis.

Quasicrystalline powders of Al-based alloy with nominal composition of  $Al_{94}Fe_3Cr_3$  was employed in experimentation and fabricated by water-atomisation technique using inhibited high-pressure water with Ph 3.5 [4]. Fraction volume of quasicrystalline particles contained by  $Al_{94}Fe_3Cr_3$  powders did not exceed 30% [5]. DSC measurements were performed using commercial apparatus STA449F1 (Netzsch, Germany). XRD analysis was performed using  $Cu K_{\alpha}$  radiation. The i-phase was indexed using Cahn's indexation scheme [6].

Fig. 1 shows typical DSC run at constant heating rate of  $10 K \cdot min^{-1}$ .

One endothermic and two exothermic reactions are clearly recognised in DSC runs of powdered  $Al_{94}Fe_3Cr_3$  alloy detected by DSC measurements. An attention should be paid to the fact that endothermic peak is accompanied by powder mass loss, suggesting dehydration of aluminium hydroxide usually presented on aluminium surface in a form of ultrathin layer. It should be noted that endothermic peak becomes strongly pronounced as powder particles size increases. This is because fraction of pores in the interior of powder particles increases, resulting in bigger length of oxidized surface. Actually, the results of XRD analysis confirm the presence of hydroxide on the surface of powder particles and pores in their interior, as can be seen in fig. 2.

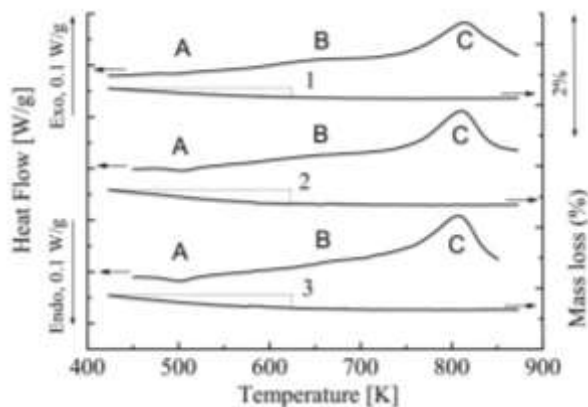


Fig. 1. DSC runs and TGA measurements detected under heating of  $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$  powder with different mesh fractions: 1 – particles of 40  $\mu\text{m}$  and less; 2 – particle size ranged from 40 to 63  $\mu\text{m}$ ; 3 – particle size ranged from 63 to 100  $\mu\text{m}$ .

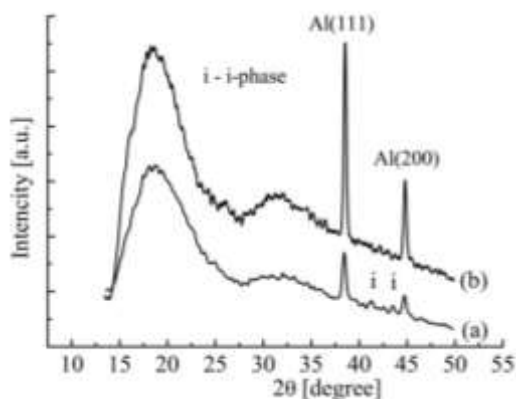


Fig. 2. Sections of XRD patterns of (a) as-received  $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$  powder and (b) powder of pure Al.

XRD patterns for  $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$  powder shows pronounced halo at the range of small angles that is generally intrinsic to gibbsite  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  and, thus, strongly suggest the presence of X-ray amorphous hydroxide  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  of variable composition. It should be noted that similar pronounced halo of increased intensity is observed in the XRD patterns for pure Al powder that has smaller corrosion resistance compared to that of  $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$  alloy. As evidenced from fig. 2, the mass loss history of  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  hydroxide starts under temperature higher than 453 K, ensuring its transformation into intermediate phases. Among those is boehmite,  $\gamma\text{-AlO}(\text{OH})$ , which is formed at temperature about 500 K, although it is also gradually decomposed during further heating up to the higher temperatures. These results are in good agreements with the data reported previously [12-14].

There are weak and broad exothermic peaks clearly recognised in DSC curves with a maximum at 653–673 K (B) and a main exothermic peak around 813K (C) commonly associated with i-phase decomposition [7-10]. The nature of the first exothermic peak B is rather different from that of main exothermic peak C. As opposed to the latter first exothermic peak B is thought to arise from dislocation reorganisation and recrystallization processes within the Al matrix. This is of common

knowledge that the latter processes arise from dislocation activity and occurred in many other metals and alloys result in exothermic heat release [11-13]. Actually, the value of the first exothermic peak B is gradually reduced down to complete elimination as the temperature of preliminary heat treatment of the powder increases up to 673 K, as can be seen in fig.1. The argumentation above is confirmed by the results of XRD analysis. Fig. 3 shows sections of XRD patterns for  $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$  powder prior and after heat treatment at different temperatures. XRD pattern of the  $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$  powder heat treated at 653 K remain similar to that of the as-received powder. Reflections of the  $\alpha$ -Al and quasicrystalline i-phase together with weak diffraction peaks corresponded to the metastable  $\text{Al}_6\text{Fe}$  phase are identified in the XRD pattern of the  $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$  powder heat treated at 783 K, suggesting the partial decomposition of i-phase. Gradual dissolution of metastable quasicrystalline particles and simultaneous formation of more stable crystalline particles is still in progress with further increasing the temperature of heat treatment, as was shown by direct observation of TEM images [14]. Coexistence of the quasicrystalline i-phase and metastable  $\text{Al}_6\text{Fe}$  phase with the stable crystalline  $\theta$ - $\text{Al}_{13}\text{Cr}_2$  phase becomes true for the  $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$  alloy powder heat treated at 803 K, which is in agreement with the data published by other authors [9, 15]. Diffraction peaks of the  $\alpha$ -Al together with reflections of the stable crystalline  $\theta$ -phases compositionally corresponded to the  $\theta$ - $\text{Al}_{13}\text{Cr}_2$  and  $\theta$ - $\text{Al}_{13}\text{Fe}_4$  are identified in the XRD pattern of the quasicrystalline powder after heat treatment at 873 K.

Attention should be drawn to the fact that main exothermic heat release C increases with increasing the temperature of preliminary heat treatment up to 673 K for 10 min, as can be seen in Fig.1. Again, the main exothermic heat release B increases essentially with increasing the annealing time up to 4 hours during heat treatment at 673 K. These phenomena are thought to be caused by increasing the fraction volume of quasicrystalline particles. As evidenced from [9, 10] coarsening by 150% of the icosahedral quasicrystalline particles accompanied by extraction of solute Fe and Cr from the Al matrix of melt-spun  $\text{Al}_{93}\text{Fe}_{4.2}\text{Cr}_{2.8}$  alloy was found to be true after heat treatment at 723 K for 30 min, indicating the increased fraction volume of quasicrystalline particles. This is because of Al matrix for as-spun  $\text{Al}_{93}\text{Fe}_{4.2}\text{Cr}_{2.8}$  alloy was oversaturated by solute Fe and Cr compared to that corresponded to the stable equilibrium concentration at liquidus temperature [9, 16].

In the present study, the results of XRD analysis proof of the evidence above. As can be seen in Table, lattice parameter  $a$  for the  $\alpha$ -Al solid solution presented in  $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$  alloy powder is gradually reduced with increasing the annealing temperature up to 783 K, indicating the enrichment of the Al matrix by solute Fe and Cr whose atomic radii are smaller by roughly about 12 % than Al atomic radius. Kinetic of i-phase decomposition is presumably to be faster compared to that for nucleation and growth of  $\text{Al}_6\text{Fe}$  phase. The increase of lattice parameter  $a$  resulted from extraction of solute Fe and Cr from the Al matrix occurs only after heat treatment at 803 K when amount of metastable  $\text{Al}_6\text{Fe}$  phase increases in comparison with that indicative of  $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$  alloy powder heat treated at 783 K. This fact is evidenced from increased integral intensity of reflections corresponded to  $\text{Al}_6\text{Fe}$  phase that was detected after heat treatment at 803 K, as can be seen in Fig. 3. It is noticeable that increasing the temperature of heat treatment up to 803 K causes the reflections corresponded to  $\text{Al}_6\text{Fe}$  phase to shift towards smaller  $2\theta$ , suggesting its alloying by Cr whose atomic radius is greater than that of Fe. However, lattice parameter  $a$ , for the  $\alpha$ -Al somewhat decrease after heat treatment at 873 K when metastable  $\text{Al}_6\text{Fe}$  phase transforms into conventional crystalline  $\theta$ -phases such as  $\theta$ - $\text{Al}_{13}\text{Cr}_2$  and  $\theta$ - $\text{Al}_{13}\text{Fe}_4$ .

Another aspect concerns the fact that the start of main exothermic reaction tends to shift toward lower temperatures with increasing the annealing parameters (temperature and time). Although the reason for this effect is not clear at the present, it could be thought that promoting action of dislocation activity under preliminary heat treatment favours the achievement of a stable equilib-

rium concentration of solute elements in the  $\alpha$ -Al and growth of the metastable quasicrystalline particles, accelerating their further dissolution and simultaneous formation of more stable crystalline particles.

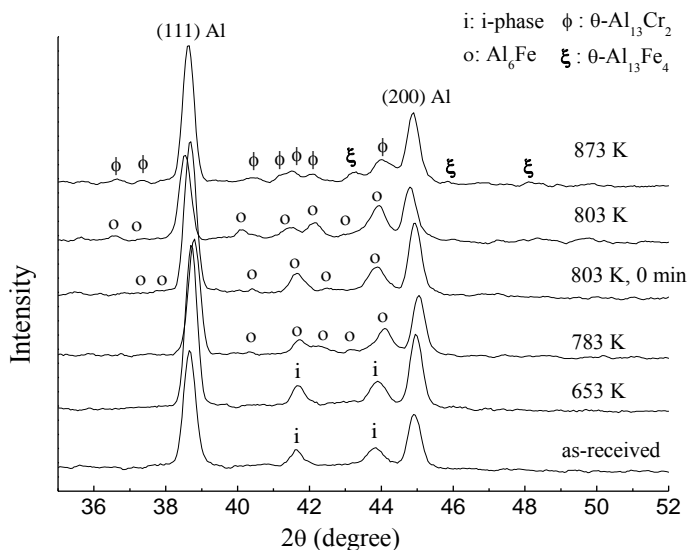


Fig. 3. Sections of XRD patterns for  $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$  powder (a) prior and (b-e) after heat treatment at different temperatures during 30 min.

Table – Lattice parameter  $a$  of the  $\alpha$ -Al solid solution presented in  $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$  alloy powder after heat treatment for 30 min at different temperatures

Temperature, K	As-received	653	783	803	873
$a$ , nm	0.403 91	0.40 369	0.40 356	0,40 456	0.40 434

By using water atomised powder of  $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$  alloy efficient application of newly developed precise method of DSC analysis for examination of phase transformation and microstructural stability of nanoquasicrystalline Al-Fe-Cr alloys composed of metastable quasicrystalline particles embedded in an Al matrix was justified. Two exothermic reactions during continuous heating of powdered  $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$  alloy up to 873 K were detected by DSC measurements. Weak and broad exothermic peak with a maximum at 653–673 K can be explained by dislocation reorganisation and recrystallization process within the Al matrix whereas the main exothermic peak around 813 K was believed to arise from decomposition of icosahedral quasicrystalline particles and simultaneous formation of the metastable  $\text{Al}_6\text{Fe}$  phase and more stable crystalline particles compositionally corresponded to the  $\theta\text{-Al}_{13}\text{Cr}_2$  and  $\theta\text{-Al}_{13}\text{Fe}_4$  phases. Promoting action of dislocation activity on diffusive mobility of Fe and Cr in the Al-matrix under preliminary heat treatment is thought to favour the arrangement of solute elements, accelerating dissolution of quasicrystalline particles and simultaneous formation of more stable  $\text{Al}_6\text{Fe}$  phase.

List of references

International Scientific-Methodological Conference «How to teach material sciences:  
new approaches and experiences from the MMATENG project»

---

1. Inoue A., Kimura H. High-strength aluminum alloys containing nanoquasicrystalline particles // *Mater. Sci. Eng. A.* – 2000. – V. 286 (1). – P.1-10.
2. Chlup Z., Todd I., Garcia-Escorial A., Liebllich M., Chlupova A. and O'Dwyer J. G. Bulk nanostructured aluminium alloy  $Al_{93}Fe_3Cr_2Ti_2$ : processing and characterisation // *Materials Science Forum.* – 2003. – Vols. 426-432. – P. 2417-2422.
3. Inoue A. Amorphous, nanoquasicrystalline and nanocrystalline alloys in Al-based systems // *Prog. Mater. Sci.* – 1998. – V. 43. – P. 365-520.
4. Neikov O.D., Kalinkin V.G., Lednyansky A.F., Vasilieva G.I. Method for production of Al and Al-based alloys. Patent Ru No 2078427, Information Bulletin 12. – 1997.
5. Milman Yu.V., Sirko A.I., Iefimov M.O. and et al. High Strength Aluminum Alloys Reinforced by Nanosize Quasicrystalline Particles for Elevated Temperature Application // *High temperature materials and processes.* – 2006. – V. 25 (1-2). – P. 19-30.
6. Cahn J.V., Schehtman D., Gratias D.. Indexing of icosahedral quasicrystalline crystals // *J. Mater. Res.* – 1986. – V. 1. – P.13-26.
7. Prima F., Tomut M., Stone I.C., et al. In situ resistometric investigation of phase transformations in rapidly solidified Al-based alloys containing dispersed nanoscale particles // *Mat.Sci. Eng. A.* – 2004. – Vols. 375-377. – P. 772-775.
8. Galano M., Audebert F., Cantor D., Stone I. C.. Structural characterisation and stability of new nanoquasicrystalline Al-based alloys // *Mat.Sci. Eng. A.* – 2004. – Vols. 375-377. – P.1206-1211.
9. Galano M., Audebert F. Stone I.C., Cantor D. Nanoquasicrystalline Al-Fe-Cr-based alloys, Part I: Phase transformations // *Acta Materialia.* – 2009. – V. 57. – P. 5107-5119.
10. Galano M., Audebert F., Escorial A.G., Stone I. C., Cantor B. Nanocrystalline Al-Fe-Cr-based alloys with high strength at elevated temperature // *J. of Alloys and Compounds.* – 2010. – V. 495. – P. 372-376.
11. Gorelyk S.S., Dobatkyn S. V., Kaputkina L. M. Recrystallisation of metals and alloys. – Moscow: MISAA, 2005. – 432 p.
12. Benchabane G., Boumerzoug Z., Thibon I., Gloriant T. Recrystallization of pure copper investigated by calorimetry and microhardness // *Materials Characterization.* – 2008. – V. 59. – P.1425-1428.
13. Takata N., Yamada K., Ikeda K. and et al. Annealing behavior and recrystallised texture in ARB processed copper // *Materials science Forum.* – 2006. – Vols. 503-504. – P. 919-924.
14. Kestenbach H.-J., Bolfarini C., Kiminami C.S., and Botta Fiho W.J.. In-situ observation of the dissolution of quasicrystalline particles in an aluminum alloy during annealing // *J. of Metastable and Nanocrystalline Materials.* – 2004. – Vols. 20-21. – P.382-387.
15. Allen C. M., O'Reilly K. A. Q., Cantor B., Evans P. V. Intermetallic phase selection in 1XXX Al alloys // *Pog. Mater. Sci.* – 1998. – V. 43. – P. 89-170.
16. Binary alloy phase diagrams. (Eds. T. B. Massalski, H. Okamoto, P. R. Subramian, L. Kacrzak). Material Park (OH): ASM International, 1990.



## PHASE AND STRUCTURAL EVOLUTION DURING MECHANICAL MILLING AND SUBSEQUENT ANNEALING OF HIGH-ENTROPY AlCuNiFeCr ALLOY

Chernyavsky V.<sup>1</sup>, Yurkova A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Junior researcher of National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine, (vadikv13@gmail.com)

<sup>2</sup>Doct of Tech. Science, Professor of National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine. (yurkova@iff.kpi.ua)

High entropy alloys (HEAs) are a new generation alloys and are quite different from traditional ones, which are based on one or two elements. HEAs defined as alloys that generally have at least 5 major metallic elements and each of which has an atomic percentage between 5 % and 35% have attracted increasing attentions. According to the regular solution model, the alloys have very high entropy of mixing, which makes HEAs usually form BCC and/or FCC solid solutions rather than intermetallic compounds or other complex ordered phases [1]. A number of these high entropy alloys have been developed for both functional applications, and have demonstrated favorable combinations of strength, ductility, oxidation resistance, and thermal stability [2]. So far, various techniques have been adopted to synthesize HEAs, such as vacuum arc melting, rapid solidification, coating, and mechanical alloying (MA) [3]. MA is a widely used solid state processing route for synthesis of advanced materials, which can easily lead to the formation of nanocrystalline and will definitely increase the properties and application scope of high entropy alloys [1]. In this paper, AlCuNiFeCr high-entropy solid solution alloy was synthesized by MA, and the structural evolution during milling and subsequent annealing processes were investigated. The as-milled powder was consolidated by pressure sintering and the structure and microhardness were investigated too.

Elemental powders of Al, Cu, Ni, Fe, Cr, in equiatomic ratio were used as the starting materials for MA. Milling of elemental powders was carried out up to 5 h in high energy planetary ball mill with ball to powder weight ratio of 10:1. The powder samples were extracted at intervals of 0,5; 1; 2; 5 h during milling. The 5 h ball milled alloy powder was then heat treated 1 h at different temperatures under flowing high purity argon atmosphere. Then, ball milled alloy powder was consolidated by pressure sintering at 800 °C for 30 min at a pressure of 5 GPa. X-ray diffraction (XRD) was performed with Rigaku Ultima IV X-ray diffractometer with Cu K<sub>α</sub> radiation to analyze structure and phase evolution during milling, subsequent annealing at temperatures ranging from 500 to 1000 °C and after sintering. The chemical compositions of the milled powders were calculated from the results of energy-dispersive X-ray spectrometer (EDX) equipped with SEM. The thermal analysis was carried out in a STA449F1 differential scanning calorimeter (DSC) at a heating rate of 20 K/min under flowing purified argon atmosphere. Vickers hardness measurement of the consolidated samples was performed with a Micro Hardness Tester HV-1000 under a loading of 1,5N and a duration time of 15s. The reported hardness value is an average of at least twenty measurements.

Fig. 1 shows the XRD patterns of the equiatomic AlCuNiFeCr high-entropy alloy powders prepared under different milling durations. The primitive blending powder includes diffraction patterns of all alloy elements. Drastic decrement of diffraction intensity is observed after 0.5 h of milling. Many diffraction peaks can hardly be seen after be ball milled for 1 h. The disappearance of diffraction peaks can be seen as the beginning of the solid solution formation. Only the most intense diffraction peak can be clearly seen in the 2 h ball milled powder, which indicates the complete formation of BCC solid solution structure (β-phase). As the milling time reaches up to 5 h, the diffraction peaks exhibit no change except for a broadening. The intensity decrement and peak broadening in the diffraction can be attributed to the formation of nanocrystalline and high lattice strain induced by mechanical deformation during the MA processing [4]. Alloying occurs when the grain

sizes of the elemental components decrease down to nanometer range and then a substantial amount of enthalpy can be stored in nanocrystalline alloys due to the large grain boundary area. The crystalline size is greatly refined as the milling duration increases. The crystal size of the alloy powders under different milling times have been calculated from the X-ray peak broadening using Scherrer's formula after eliminating the instrumental contribution. The 5 h MA powder exhibits a crystal size of 18 nm.

The MA powders with milling duration higher than 2 h show simple solid solution structure, which can be attributed to the formation of supersaturated solid solution. The solid solubility extension is introduced by: the effect of high mixing entropy [1] and the non-equilibrium state of the MA process. As the component number increases, the random diffusion between different elements will be enhanced and thus the solid solubility is extended. In addition, the high-entropy of mixing can lower the tendency to order and segregate, and so makes the solid solution more easily formed and more stable than intermetallics and other ordered phases [3].

The EDX microanalysis results (not listed in this paper) exhibit the chemical homogeneity and the equiatomic composition of alloy particles after 5 h of ball milling.

Fig. 2 shows the DTA curve of the 5 h mechanically alloyed AlCuNiFeCr powder.

The 5 h, MA powder exhibits exothermic/endothermic trends in the temperature range of 30-1430 °C. The endothermic peak at 72 °C is associated with energy absorption which can be related to the evaporation of process controlling agent (PCA) and gas. The long exothermic line in the temperature range of 120 to 550 °C is associated with the release of internal stresses, such as structural deformation, lattice strain, etc. This exothermic line in the DTA curve demonstrates the recovery and recrystallization processes under isothermal annealing. Fig. 3 shows that after annealing at 500 °C, the XRD pattern exhibits small FCC peaks along with original BCC peaks. The DSC results shown in Fig. 2 clearly reveal that there is no predominant endothermic or exothermic peak up to 550°C, which indicates that there is no phase change in the nanocrystalline equiatomic AlCuNiFeCr HEA up to 550 °C. This suggests that the small fraction of FCC phase observed in the annealed samples possibly existed in the as-milled condition itself. However, the small volume fraction of FCC phase is not visible in the as-milled condition due to the peak broadening caused by nanocrystalline nature of the FCC phase. Moreover, peak broadening caused by nanocrystalline nature of the BCC and FCC phases is the reason for the overlapping of the peaks in the as-milled condition due to severe plastic deformation under MA process. The exothermic peak at approximately 580 °C is related to the energy release during the phase transformation process. Fig. 3 shows that after annealing at 600 °C, the XRD pattern exhibits small FCC1( $\alpha_1$ ) peaks along with original BCC and FCC peaks. This reveals the precipitation of the FCC1 phase, which corresponds to the sharp exothermic peak at 580 °C in the DTA curve. After annealing at 700 and 800 °C, Fig. 3 shows that the powders exhibit BCC, FCC and FCC1 mixed phases. However, the minor increasing XRD peak intensities of the FCC and BCC phases indicate the grain growth of both phases, which correspond to the exothermic line in the temperature range of 650 to 800 °C in the DTA curve.

Fig. 3 indicates that after annealing at 900 and 1000 °C, the powders exhibit both BCC and FCC mixed phases. However, the increasing XRD peak intensities of the BCC and FCC phases indicate the grain growth of both phases. After heating to 800°C, a long endothermic curve appears and it can be attributed to the gradual collapse of crystalline structure under high temperature. The endothermic peak at 1310 °C in the DTA curve is designated as the alloys' melting point.

The XRD patterns of nanocrystalline equiatomic AlCuNiFeCr HEA are shown in Fig. 4, which evidences the phases formed in as milled and consolidated conditions, i.e. after 5 h of milling and pressure sintering at 800 °C with 5 GPa pressure for 30 min. The XRD pattern shows the single BCC phase in the 5 h milled sample. The consolidated samples show the BCC phase and a small volume fraction of FCC phase. Obvious peak broadening, shown in Fig. 4, confirm the nanocrystalline nature of AlCuNiFeCr HEA with BCC and FCC structure.

The Vickers's hardness HV of as-consolidated nanostructured equiatomic AlCuNiFeCr HEA has been found to be  $9.5 \pm 0.2$  GPa. The high hardness could be attributed to the nanocrystalline nature of the alloy, the solid solution strengthening equiatomic nature of the phases and the presence of two-phase structure [4] with a larger volume fraction of nanocrystalline BCC phase and minor FCC phase. In general, nanocrystalline structure is expected to enhance the hardness and wear resistance of the material.

The entropy of fusion of all the elements in the present system is less than that of the configurational entropy of the five-component system ( $\Delta S_{\text{mix}} = 13.38 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ), which means the randomness due to the number of elements present in the system is higher than the randomness in the melting. This high configurational entropy (high randomness in the system) and also the large quantity of defects induced during MA may lead to the formation of simple crystal structure in this HEA. The formation of amorphous phase at the equiatomic composition in the present system is not observed, possibly due to the smaller differences in the atomic sizes ( $\delta = 4.9 \%$ ).

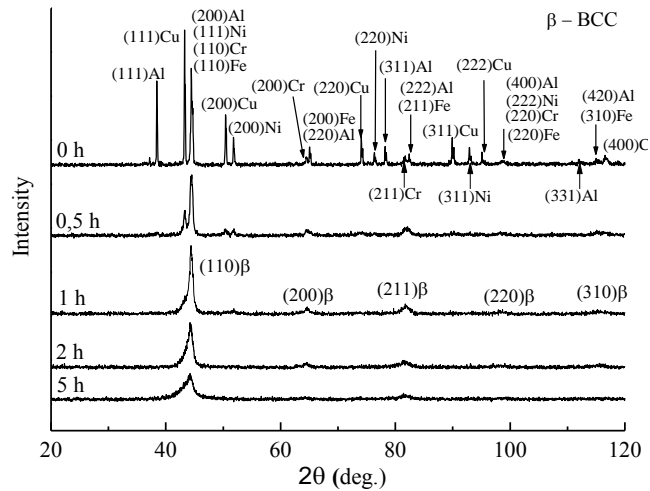


Fig. 1. XRD patterns of mechanically alloyed AlCuNiFeCr powders with different milling times

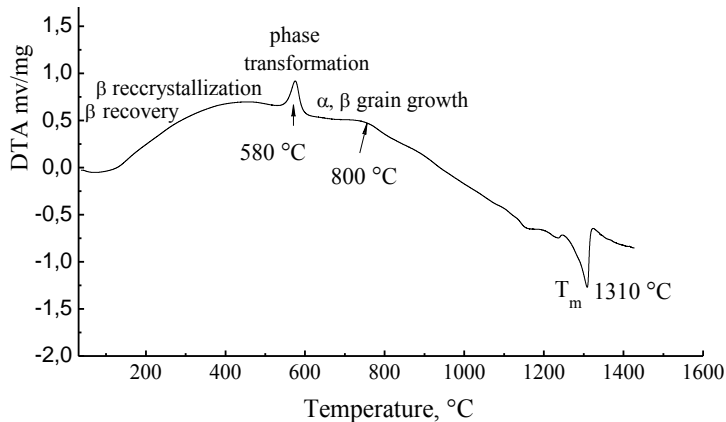


Fig. 2. DTA curve of the 5 h mechanically alloyed AlCuNiFeCr HEA powder

It was justified experimentally that MA of Al-Cu-Ni-Fe-Cr powder mixture during 5 hours resulted in a two-phase nanocrystalline HEA with a structure of BCC and minor FCC solid solutions. During thermal annealing recovery and recrystallization of the BCC and FCC solid solutions take place at temperatures ranging from 120 to 550°C, and precipitation of second FCC phase and grain growth of equilibrium phases occur at higher temperatures. The BCC and FCC solid solution structure can be maintained even after the alloy was annealed at 1000°C. The alloy powder was successfully consolidated by pressure sintering at 800 °C with 5 GPa for 30 min. The sintered samples exhibit  $9.5 \pm 0.2$  GPa in Vickers hardness.

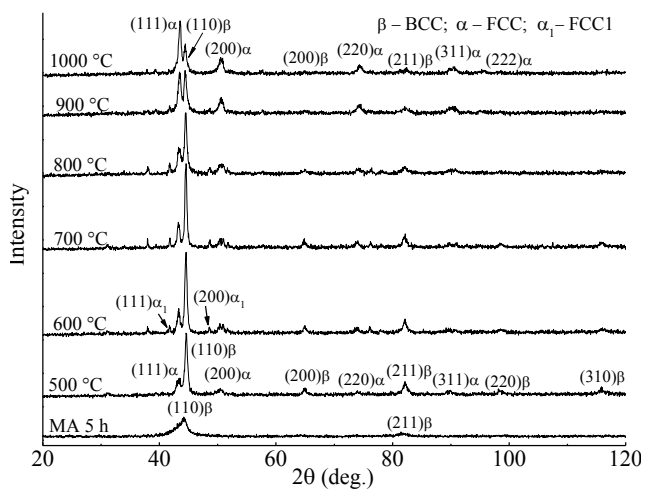


Fig. 3. XRD patterns of MA AlCuNiFeCr HEA powders after thermal annealing at different temperatures

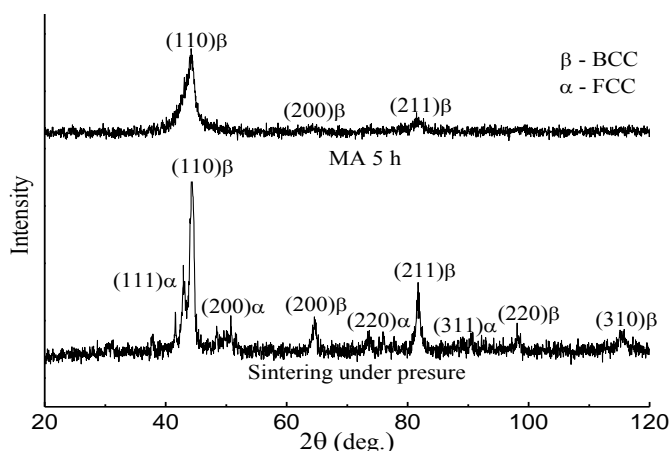


Fig. 4. XRD patterns of equiatomic AlCuNiFeCr HEA after MA and sintering at 800 °C with 5 GPa pressure for 0.5 h

List of references

1. Yeh J.-W., Chen Y.-L., Lin S.-J., Chen S.-K. High-Entropy Alloys – A New Era of Exploitation // *Materials Science Forum*. 2007, V. 560. – P. 1- 9.
2. Varalakshmi S, Kamaraj M, Murty BS. Processing and properties of nanocrystalline CuNiCoZnAlTi high entropy alloys by mechanical alloying // *Mater Sci. Eng A*. – 2010. – V. 527. – P. 1027–1030
3. Zhang K.B., Fu Z.Y., Zhang J.Y. and et. al. Nanocrystalline CoCrFeNiCuAl high-entropy solid solution synthesized by mechanical alloying // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2009. – V. 485. – P. L31–L34.
4. Yeh J.-W., Chang S.Y., Hong Y.D. and et. al. J. Anomalous decrease in X-ray diffraction intensities of Cu–Ni–Al–Co–Cr–Fe–Si alloy systems with multi-principal elements // *Mater. Chem. Phys.* 103 (2007) 41–46.



## **ДОСВІД ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ НОВИХ НАВЧАЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН В РАМКАХ ПРОЕКТУ «ММАТЕНГ» НА ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНОМУ ФАКУЛЬТЕТІ НТУУ «КПІ»**

**Бірюкович Л. О.<sup>1</sup>, Богомол Ю. І.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доцент НТУУ «КПІ», Київ, Україна, (linabiruk@ukr.net)

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доцент НТУУ «КПІ», Київ, Україна, (ubogomol@iff.kpi.ua)

Сьогодні стало загальноприйнятим пов'язувати майбутнє країни з тим, наскільки вона успішно просувається в освоєнні таких напрямків, які сприяють розвитку економіки та збереженню навколишнього середовища. Такими напрямками є енергетика, яка забезпечує виробництво дешевою та екологічно безпечною електроенергією, та нанотехнології, що дозволяють істотно поліпшити властивості вже відомих продуктів і розробити принципово нові.

Забезпечити Україні лідерство в науково-технічному прогресі дозволить підготовка висококваліфікованих фахівців в області інженерного матеріалознавства, які здатні створювати, експлуатувати і утилізувати матеріали для цих напрямків. Для забезпечення високого рівня підготовки фахівців необхідно привести у відповідність навчальні програми і скористатися напрацюваннями та досвідом університетів країн-партнерів ЄС. Таку можливість надає програма Темпус, яка є освітньою програмою Європейського Союзу. Вона була заснована в 1990 році з метою підтримки модернізації системи вищої освіти та створення простору для співпраці в країнах-партнерах ЄС через університетські проекти. Також програма спрямована на добровільне наближення систем вищої освіти в країнах-партнерах до здобутків розвитку вищої освіти в державах-членах ЄС, і додатково пропагує підхід міжлюдської співпраці (people to people approach).

Навесні 2013 року в рамках 6-го конкурсу програми TEMPUS IV до Єврокомісії було подано спільну проектну заявку від консорціуму з 19 організацій, 6 з яких представляють Україну, в тому числі НТУУ "КПІ". В листопаді Виконавче агентство з питань освіти, аудіовізуальних засобів і культури (EACEA) оголосило результати конкурсу: серед відібраних 171 проекту, рекомендованих для фінансування, 33 проекти реалізуватимуться за участю українських університетів, асоціацій та неурядових організацій, підприємств та дослідних інститутів – усього близько двохсот партнерів від України беруть участь у впровадженні вищезазначених проектів.

Проектна заявка, у підготовці якої брав участь інженерно-фізичний факультет НТУУ "КПІ" "Modernization of two cycles (MA, BA) of competence-based curricula in Material Engineering according to the best experience of Bologna Process" (MMATENG) ("Модернізація навчальних планів дворівневої програми підготовки (бакалаври/магістри) з інженерного матеріалознавства на основі компетентного підходу до найкращого досвіду впровадження положень Болонського процесу") успішно пройшла відбір.

Робота у рамках проекту Темпус розпочалась у грудні 2013 року з аналізу планів напряму підготовки "Інженерне матеріалознавство" освітньо-кваліфікаційних рівнів (ОКР) "Бакалавр" та "Магістр". Загалом проаналізовано 3 плани ОКР "Бакалавр" за програмами професійного спрямування "Композиційні та порошкові матеріали, покриття", "Металознавство" та "Фізичне матеріалознавство" і 3 плани за ОКР магістр за спеціальностями "Композиційні та порошкові матеріали, покриття", "Металознавство" та "Фізичне матеріалознавство". Визначено пріоритетні дисципліни для подальшого порівняльного аналізу їх програм. Серед дисциплін ОКР "Бакалавр" обрано 38 дисциплін таких як "Металознавство", "Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів",

"Матеріалознавство тугоплавких та композиційних матеріалів", "Використання ПК та комп'ютерних моделей в інженерній практиці", "Проектування конструкцій з порошкових та композиційних матеріалів", "Методи дослідження властивостей матеріалів та виробів", "Корозія і захист матеріалів", "Кольорові метали та сплави", "Неметалеві матеріали", "Матеріали відновної енергетики", "Фундаментальні основи нанотехнологій", "Термічна обробка металів і сплавів", "Технологія виробництва та обробка матеріалів", "Матеріалознавство та інженерія покриття", "Електронна мікроскопія" тощо.

Серед дисциплін ОКР "Магістр" обрано 13 дисциплін – "Інженерне матеріалознавство", "Фізичні основи міцності та пластичності", "Функціональні наноматеріали та наноструктуровані покриття", "Фізико-хімічні основи стану поверхні речовини", "Електронно-зондові методи аналізу речовин та матеріалів", "Рентгенівський аналіз дисперсних систем", "Наноматеріали та нанотехнології", "Конструювання структури та властивостей матеріалів на основі баз даних", "Атомний дизайн та зондові нанотехнології модифікації поверхні" тощо.

У подальшому було проведено порівняльний аналіз кількості кредитів та годин, що відводяться на вивчення дисциплін, лекційних тем, тем практичних, семінарських та лабораторних занять програм дисциплін запропонованих європейськими університетами міст Лілля (Франція), Льовена (Бельгія), Кракова (Польща) тощо та програм дисциплін відібраних для порівняльного аналізу, які викладаються у рамках напряму підготовки "Інженерне матеріалознавство" ОКР "Бакалавр" та ОКР "Магістр". Загалом було проаналізовано 11 дисциплін європейських університетів серед яких "Basics of material science incl. fatigue behavior", "Material selection (with the use of CES-software)", "CAD-CAM-CAE Siemens NX", "Microstructure investigation techniques", "Damage and reliability of materials", "Metallurgy, corrosion and surface treatment" тощо та 54 відібрані дисципліни напряму підготовки "Інженерне матеріалознавство".

У результаті проведеного порівняльного аналізу були остаточно встановлені дисципліни, програми яких підлягають подальшій модернізації. З 54 проаналізованих дисциплін обрано 28.

Важливим висновком порівняльного аналізу біло те, що програми більшості дисциплін не потребують радикальної переробки, а потребують доповнення окремими темами.

Повністю планується замінити програму дисципліни "Використання ПК та комп'ютерних моделей в інженерній практиці", яка викладається студентам ОКР "Бакалавр", через те, що замість неї планується впровадити дисципліну "CAD-CAM-CAE Siemens NX".

В січні 2015 року викладачі інженерно-фізичного факультету доцент кафедри високотемпературних матеріалів та порошкової металургії (ВТМ та ПМ) Степанов О. В., асистенти кафедри ВТМ та ПМ Троснікова І. Ю., кафедри металознавство та термічної обробки Аршук М. В., кафедри фізики металів Владимирський І. А. пройшли стажування за програмою Tempus MMATENG на базі Католицького університету Льовена (Бельгія).

Лекції та практичні заняття проводили провідні фахівці Католицького Університету Льовена (KU Leuven), Вищої державної школи хімії (ENSCL, Ліль, Франція), компанії Granta Design – розробника системи CES, концерну Siemens – розробника CAD-CAM системи Siemens NX.

Уже з наступного навчального року студенти напряму підготовки "Інженерне матеріалознавство" будуть оволодівати прийомами роботи в програмних продуктах CES Edupack та Siemens NX 9. Знання отримані студентами дозволять якісно змінити їх уміння комп'ютерного проектування виробів та вибору матеріалів для них.

Головною методичною проблемою імплементації нових навчальних дисциплін в рамках проекту «MMATENG» на інженерно-фізичному факультеті НТУУ «КПІ» є зміни

пов'язані із запровадження нового Закону про вищу освіту від 01.07.2014 №1556-VII і розробкою нової Національної рамки кваліфікацій.

Зміни впроваджені Законом про вищу освіту щодо кількості годин у кредиті були враховані під час розробки навчальних планів на 2-4 рік навчання ОКР "Бакалавр" та 6 рік навчання ОКР "Магістр".

Основні зміни в навчальних планах ОКР "Магістр" планувалось зробити на 1-му році навчання, так як саме тут знаходяться дисципліни обрані для модернізації. Але відсутність затвердженої остаточної редакції Національної рамки кваліфікацій не дає змоги завершити розробку цих планів для 1-го року навчання як ОКР "Магістр" так і ОКР "Бакалавр".

Проте, не зважаючи на певні труднощі проект успішно виконується і імплементація нових навчальних планів і програм в учбовий процес буде проведена в заплановані в проекті строки.



**МОДИФІКУВАННЯ ПОВЕРХНІ МАГНІТНО-АБРАЗИВНИМ МЕТОДОМ****Степанов О.В.<sup>1</sup>, Майборода В.С.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>канд. техн. наук, доцент НТУУ "КПІ", Київ, Україна, (ostepanoff@iff.kpi.ua)<sup>2</sup>д-р техн. наук, професор НТУУ "КПІ", Київ, Україна, (maiborodavs@mail.ru)

Сьогодні, при створенні нових зразків техніки, актуальним залишається формування оптимальних властивостей виробів, включаючи модифікування поверхні та поверхневого шару, надання йому спеціальних властивостей. У цілому ряді термічних, хіміко-термічних, механічних методів модифікування поверхні досить рідко згадують технологію магнітно-абразивного оброблення. Це відбувається не дивлячись на те, що така технологія уже багато років розвивається вченими різних країн, особливо успішно в Україні, Білорусі, Болгарії та Японії [1-3].

Об'єктивні труднощі з викладанням та використанням методу магнітно-абразивного оброблення пов'язані з цілим рядом обставин. Насамперед, магнітно-абразивне оброблення - метод, що займає проміжне становище між обробкою зв'язаним абразивом та вільним абразивом. Зв'язкою магнітно-абразивного інструменту виступає магнітне поле. З одного боку це позитивно впливає на процес оброблення, з іншого вносить додатковий ряд факторів, які визначають якість та продуктивність оброблення, а значить збільшує розмірність задач аналізу та оптимізації процесу. Інша проблема магнітно-абразивного методу полягає в складності і недостатній вивченості механізмів впливу магнітно-абразивного інструменту на оброблювану поверхню та приповерхневий шар. Вважається, що переважно вплив магнітно-абразивного інструменту на поверхню складається з різання незакріпленим абразивним зерном. Однак, це не повною мірою пояснює створення в оброблюваних деталях стискаючих залишкових напружень на достатньо великій глибині.

Дослідження процесів магнітно-абразивного оброблення та його модифікуючого впливу на поверхню деталей в НТУУ "КПІ" здійснюється за декількома напрямками, а саме:

- зміцнює-поліруюче оброблення поверхні деталей. Об'єктами оброблення виступають деталі машин, зокрема компресорні лопатки газотурбінних двигунів, металорізальний інструмент з швидкорізальних сталей та твердих сплавів;
- напіврозмірне оброблення: формування кромки лопаток з заданим радіусом, формування різальних кромки інструменту з заданим радіусом або з заданим законом зміни радіусу закруглення;
- застосування магнітно-абразивного модифікування поверхні деталей та інструменту з метою нанесення захисних та функціональних покриттів;
- підвищення стійкості та створення умов для відновлення працездатності магнітно-абразивного інструменту;
- розробка обладнання для проведення магнітно-абразивного оброблення.

Дослідження за вказаними напрямками показали, що процес магнітно-абразивного оброблення не обмежується абразивним різанням, а супроводжується комплексним фізико-механічним впливом на поверхню та приповерхневий шар.

Розроблено схему оброблення лопаток компресорів ГТД та обладнання для його реалізації, які забезпечують одночасне формування шорсткості поверхні на рівні  $Ra < 0.16 \mu\text{m}$ , створення в поверхневому шарі стискаючих залишкових напружень, з глибиною залягання до 200 мкм (залежно від матеріалу лопатки), бездефектне формування кромки пера лопатки згідно робочих креслень. Це, в свою чергу, призводить до суттєвого, на 20-25% зростання опору втомі. [2,3]

Розроблено режими оброблення кінцевого різального інструменту (свердла, мітчики, фрези, розгортки), що забезпечує зниження шорсткості поверхонь різальної кромки та стружковідвідних елементів, зміцнення поверхневого шару та формування заданого радіусу різальних кромок. Шорсткість поверхні знижується на один клас і може досягати  $Ra < 0,16 \mu\text{m}$  [4], поверхнева твердість збільшується на 20-35%, і досягає значень 9-9.5 ГПа (на швидкорізальній сталі класу P6M5). Комплексний модифікуючий вплив знижує сили різання та забезпечує суттєве підвищення стійкості інструменту.

Магнітно-абразивне оброблення багатограних непереточуваних твердосплавних пластин також носить комплексний характер: зниження шорсткості поверхні, підвищення поверхневої твердості, видалення мікрodefektів різальних кромок та кероване формування заданої форми різальних кромок, що включає як заокруглення з заданим радіусом так і формування К-фактору кромки 1-1.7 [5]. Це, в свою чергу призводить до суттєвого підвищення стійкості пластин.

Таким чином магнітно-абразивне оброблення має комплексний модифікуючий вплив на поверхню та приповерхневий шар виробів різноманітного призначення, що може суттєво покращувати їх службові характеристики. Введення розділів пов'язаних з теорією та практикою процесу в програму матеріалознавчої підготовки дозволить розширити можливі межі застосування цього технологічного процесу.

#### Перелік посилань

1. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов / Ю.М. Барон. – Л.: Машиностроение, 1986. – 176 с.
2. Майборода В.С. Основи створення і використання порошкового магнітно-абразивного інструменту для фінішної обробки фасонних поверхонь : дис. докт. техн. наук: 05.03.01 / Майборода В. С. – Київ, 2001. – 404 с.
3. Степанов О.В. Исследование процесса формирования магнитно-абразивного порошкового инструмента для обработки деталей сложной геометрической формы : дис. канд. техн. наук: 05.16.06 / Степанов О.В. – Киев, 1997. – 158 с.
4. Майборода В.С. Вплив магнітно-абразивного оброблення на якість мітчиків із швидкорізальної сталі / В.С. Майборода, І.В. Ткачук, Д.Ю. Джулій, Д.В. Тарган // Вісник НУ «ЛП». Оптимізація виробничих процесів і технологічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – Львів, 2013. – Вип. 772. – С. 202 – 206.
5. Джулій Д.Ю. Підвищення якості багатограних непереточуваних твердосплавних пластин при магнітно-абразивному обробленні в кільцевій ванні : дис. канд. техн. наук: 05.03.01 / Джулій Д.Ю. - Київ, 2014. - 173 с.

**СПРЯМОВАНО АРМОВАНІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ СИСТЕМ  
Mo-Si-B, WC-W<sub>2</sub>C****Троснікова І.Ю.<sup>1</sup>, Лобода П.І.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>канд. техн. наук., асистент НТУУ «КПІ», м.Київ, Україна, (irina2510@ukr.net)<sup>2</sup>д-р техн. наук, декан ІФФ НТУУ «КПІ», м.Київ, Україна, (petrloboda@yandex.ru)

Деталі, що працюють в умовах великих динамічних навантажень, абразивного зношування, в агресивному середовищі та при високих температурах, наприклад, бури нафто- та гірничовидобувного обладнання, металообробного інструменту, лопатки газотурбінних двигунів та інші, мають строк служби в 3-5 разів нижчий, ніж інші частини механізмів цієї техніки [1]. Зношені деталі потребують заміни, що призводить до зниження рентабельності виробництва та збільшення витрат на ремонт обладнання. Проблема щодо підвищення зносостійкості для України – актуальна ще й у зв'язку з дефіцитом жароміцних легуючих добавок та постійним розширенням області їхнього застосування (наприклад, для видобутку сланцевого газу). Проблему підвищення зносостійкості можна вирішити шляхом виготовлення конструкційних деталей машин і механізмів із нових матеріалів з підвищеними твердістю, міцністю та в'язкістю, або модифікуванням поверхні традиційних шляхом нанесення зносостійких покриттів [2].

Керамічні матеріали мають найбільш високі значення температури плавлення модуля пружності, температури початку інтенсивної повзучості, твердості. Серед перспективних для виготовлення деталей газотурбінних двигунів є сплави системи Mo-Si-B, а серед традиційних для захисту металевих виробів від зношування WC-W<sub>2</sub>C. Головним недоліком керамічних матеріалів є низька міцність та висока крихкість. З усіх механізмів зміцнення (подрібнення зерна, армування волокнами, введення пластичної зв'язки, створення внутрішніх напружень та інше) тільки армування монокристалічними волокнами забезпечує збільшення міцності більше ніж на порядок [3].

Одержання армованих керамічних матеріалів змішуванням порошків матричної фази та волокон з наступним спіканням, гарячим пресуванням, ізостатичним пресуванням не дозволяє зберегти цілісність і рівномірний розподіл волокон по об'єму матричної фази. Методи кристалізації із розплавів евтектичних сплавів дозволяють отримувати регулярне розташування волокон та формування когерентних та напівкогерентних границь розподілу між матричною фазою і волокнами, що є головною умовою підвищення термічної стабільності структури та поліпшення фізико-механічних властивостей матеріалу. Водночас ступінь когерентності, рівномірність розподілу за розмірами, розмір волокон залежить від теплових умов кристалізації, хімічного складу та природи фазових складових композиційного матеріалу [4].

Головною умовою формування армованих керамічних матеріалів кристалізацією з розплавів є евтектичний характер діаграми стану. Відомо, що взаємодія між карбідом і напівкарбідом вольфраму описується евтектичною діаграмою стану, тоді як квазібінарний розріз MoSi<sub>2</sub>-MoB<sub>2</sub> потребує вивчення. Окрім того не вивченими є питання впливу теплових умов кристалізації на мікроструктуру та фазовий склад сплавів системи WC-W<sub>2</sub>C. Тому актуальним є визначення складу та концентраційно-температурних інтервалів кристалізації евтектики в системі MoSi<sub>2</sub>-MoB<sub>2</sub> та дослідження впливу параметрів процесу кристалізації та природи компонентів на мікроструктуру сплавів систем MoSi<sub>2</sub>-MoB<sub>2</sub>, WC-W<sub>2</sub>C з метою підвищення їх механічної міцності та зносостійкості.

Для вивчення процесу сплавоутворення у квазібінарній системі MoSi<sub>2</sub>-MoB<sub>2</sub> вихідні компоненти отримували у вигляді порошків прямим синтезом із елементів. Вивчався

хімічний, фазовий склад та фізичні властивості порошків. Встановлено, що частинки з розміром 5-10 мкм порошку  $\text{MoB}_2$  мають сферичну, а  $\text{MoSi}_2$  більш неправильну форми.

Встановлено, що зі збільшенням швидкості кристалізації кристалів евтектичного сплаву розмір включень із дибориду молібдену зростає в поздовжньому напрямку і зменшується в площині поперечного перетину кристалу. Крім того, збільшується кількість включень боридної фази, що свідчить про формування стрижнів та пластин, які забезпечують ефект армування матричної фази із дисиліциду молібдену.

Вимірювання механічних властивостей кристалів евтектичного сплаву показало, що зі збільшенням швидкості кристалізації від 1 до 4 мм/хв. мікромеханічні характеристики сплаву зростають в 1,5-2 рази, як у площині поперечного, так і в поздовжньому перерізі кристалу, що можна пояснити ефектом армування бездефектними монокристалічними волокнами з дибориду молібдену матричної фази з дисиліциду молібдену.

Таким чином побудовано діаграму плавкості системи  $\text{MoSi}_2\text{-MoB}_2$  (рис.1), встановлено склад евтектики –  $\text{MoSi}_2\text{-18%}(мас.)\text{MoB}_2$ , вплив швидкості кристалізації евтектичного сплаву на формування композиційного матеріалу, що представляє собою матрицю з дисиліциду молібдену, армовану стрижневими включеннями з дибориду молібдену, що забезпечує підвищені механічні властивості та найвищі серед відомих сплавів системи  $\text{Mo-Si-B}$  характеристики високотемпературної повзучості.

На основі вивчення структури, температури плавлення, фазового складу встановлено евтектичний характер діаграми стану квазібінарної системи  $\text{MoSi}_2\text{-MoB}_2$ , склад евтектики – 82 мас.% $\text{MoSi}_2$  - 18 мас.% $\text{MoB}_2$  та температура плавлення – 1650<sup>0</sup>С. Встановлено закономірності формування структури при спрямованій кристалізації розплаву квазібінарного евтектичного сплаву системи  $\text{MoSi}_2\text{-MoB}_2$ , які полягають у тому, що вищою в умовах спрямованої кристалізації кристали евтектичного сплаву представляють собою матрицю із  $\text{MoSi}_2$  з регулярно розташованими волокнами із  $\text{MoB}_2$ , розмір яких зменшується, а кількість зростає при збільшенні швидкості росту кристалів від 1 до 4 мм/хв.

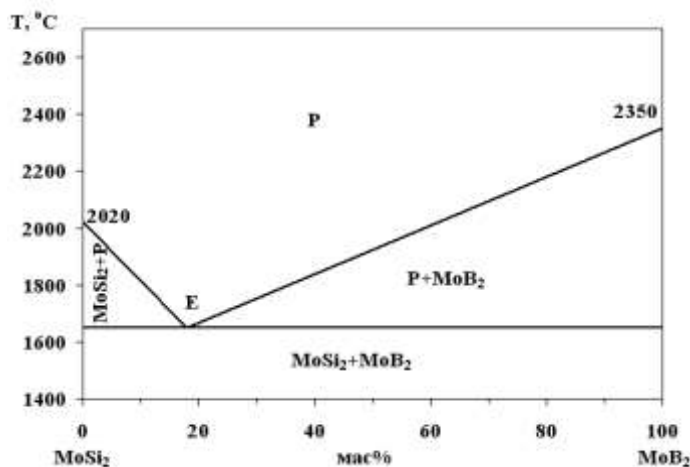


Рис.1. Діаграма плавкості квазібінарної системи  $\text{MoSi}_2\text{-MoB}_2$

Встановлено, що кристали евтектичного сплаву системи  $\text{MoSi}_2\text{-MoB}_2$  з матрицею з  $\text{MoSi}_2$  та регулярно розташованими стрижневими включеннями з  $\text{MoB}_2$  мають на порядок нижчу швидкість високотемпературної повзучості, порівняно зі сплавами з хаотичним

розташуванням фазових складових і є найбільш перспективними для виготовлення деталей газотурбінних двигунів.

Сплави системи WC-W<sub>2</sub>C широко використовують на практиці як наплавочні матеріали для деталей, що працюють в умовах великих динамічних навантажень [2]. Суттєвого підвищення їх механічних властивостей можна досягти за рахунок армування [5], утім спроба отримати армований композит в системі WC-W<sub>2</sub>C в умовах зонної плавки, аналогічно системі MoSi<sub>2</sub>-MoB<sub>2</sub> з максимально можливою швидкістю охолодження 10<sup>2</sup> град/с виявилася не можливою. Тому вплив швидкості охолодження на формування структури та властивостей евтектичного сплаву системи WC-W<sub>2</sub>C – WC-78÷82%(мас.) W<sub>2</sub>C (реліту) вивчали на сплавах, отриманих в умовах відцентрового розпилення розплаву евтектичного складу системи WC-W<sub>2</sub>C, де реалізується швидкість охолодження 10<sup>5</sup> град/с.

Встановлено, що зі зростанням швидкості охолодження від 10<sup>2</sup> до 10<sup>3</sup> град/с видовжені пластини та стрижні змінюють свою морфологію на дендритну з гілками 1 та 2 порядку, а при максимальній швидкості охолодження (10<sup>5</sup> град/с) формується комірчаста структура, де наявні дендрити тільки 1 порядку. Такий процес формування структури свідчить про те, що зі зростанням швидкості кристалізації збільшується концентраційне переохолодження в розплаві на фронті росту кристалу (рис.2).

Методами рентгеноструктурного аналізу встановлено вплив швидкості охолодження на фазовий склад, розмір та напружено-деформований стан фазових складових та властивості евтектичного сплаву системи WC-W<sub>2</sub>C [6]. Виявлено, що з підвищенням швидкості охолодження співвідношення WC та W<sub>2</sub>C практично не змінюється, розміри областей когерентного розсіювання зменшуються у 1,5–2 рази, напруження як у матриці, так і у включеннях зростають в 2–2,5 рази, при чому армуюча фаза WC знаходиться в сплавах у розтягнутому, а матрична фаза W<sub>2</sub>C — у стиснутому станах, що призводить до підвищення мікротвердості на 30%, в 2–4 рази міцності на стиснення та на 30–40% зносостійкості.

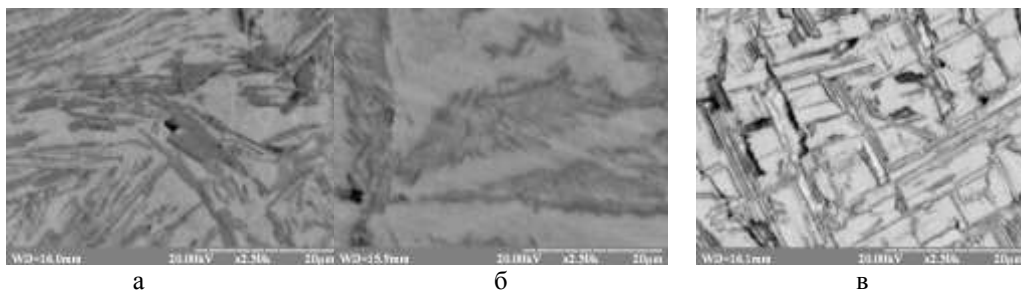


Рис. 2. Мікроструктура сплаву системи WC–W<sub>2</sub>C, отриманого з різною швидкістю охолодження

#### Перелік посилань

1. 4. Белый А.И. Износоустойчивость и прочность карбидов вольфрама WC - W<sub>2</sub>C, полученных разными методами // Автоматическая сварка. – 2010. – № 12. – С. 20 – 23.
2. Дзыкович В.И. Свойства порошков карбидов вольфрама, полученных по различным технологиям // Автоматическая сварка. – 2010. – № 4. – С. 28 – 31.
3. Лобода П.І. Фізико-хімічні основи створення нових боридних матеріалів для електронної техніки і розробка керамічних катодних вузлів з підвищеною ефективністю // Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. – 2004.
4. Лобода П.І. Спрямовано закристалізовані бориди. – К.: Праймдрук, 2012. – 395с.

5. I. Bogomol, O. Vasykiv, Y. Sakka and P. Loboda. Mechanism of nucleation and growth of directionally crystallized alloys of the  $B_4C$ - $MeB_2$  system // Journal of Alloys and Compounds, 490 (1-2), pp. 557-561 (2010).

6. Троснікова І.Ю., Лобода П.І., О.П. Карасєвська О.П., Білий О.І. Вплив швидкості охолодження під час кристалізації розплаву на структуру та властивості  $WC-W_2C$  // Порошкова металургія. – 2013. - № 11/12 . – С. 80-87.

## МЕТОДОЛОГІЯ РЕАЛІЗАЦІЇ КОМПЕТЕНТІСНОГО ПІДХОДУ У ВИКЛАДАННІ ТЕХНІЧНИХ ДИСЦИПЛІН НАПРЯМКУ «ІНЖЕНЕРНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»

**Холявко В.В.**

канд. техн. наук, доцент НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна. (kholval@ukr.net)

Насьогодні, в процесі імплементації нової парадигми вищої освіти, яка базується на трьох «китах»: міждисциплінарність - інтернаціональна мобільність - практична підготовка [1], застосування сучасних педагогічних технологій навчання стає запорукою успішного формування у випускників необхідних компетентностей.

Викладання в рамках компетентісного підходу вимагає, в першу чергу, усвідомлення самим викладачем різниці між класичною для минулого століття педагогічною системою в координатах «знання – уміння – навички» та сучасною особистісно орієнтованою компетентісною системою. Основна відмінність криється в самому понятті «компетентність». На рис.1 наведено схему, яка відображає всі складові цього поняття.



Рис. 1 – Складові поняття «компетентність».

Таким чином, компетентісний підхід є моделлю викладання, в якій поряд з наданням необхідних знань, умінь та навичок, викладач надає студентам можливість опанувати й типові методики розв'язання стандартних професійних задач та розвинути необхідні психологічні якості для успішного подальшого працевлаштування, що, безперечно, є однією з основних цілей вищої освіти.

В рамках міжнародного TEMPUS - проекту “Модернізація навчальних планів дворівневої програми підготовки (бакалаври/магістри) з інженерного матеріалознавства на основі компетентісного підходу та найкращого досвіду з впровадження положень Болонського процесу” (MMATENG) після проведеного аналізу змісту наявних та запропонованих для реалізації навчальних дисциплін, викладачі, що приймають участь у цьому проекті, перейшли до розробки та впровадження різноманітних педагогічних технологій, які забезпечать успішну імплементацію моделі компетентісної освіти.

В першу чергу було необхідно для кожної дисципліни чітко визначити стартовий рівень обізнаності, який повинен бути у студентів на початку вивчення кожної дисципліни,

а також відповідні складові компетентності, які сформуються у студентів внаслідок навчання. Для цього було розроблено стандартну форму для опису дисципліни, яку наведено на рис.2. Такий аналіз дозволяє чітко визначити місце кожної дисципліни в структурно-логічній схемі навчання, а також полегшує структурування самої дисципліни при створенні її робочої програми та визначенні обсягу запропонованого для опанування матеріалу, кількості кредитів, послідовності тем, тощо.

В процесі оновлення змісту дисциплін, чим на разі й займаються викладачі, які беруть участь у проекті, необхідно збільшити практичну спрямованість в подачі матеріалу. Лекції, особливо для магістрів, повинні перестати бути просто джерелом інформації. Кожен факт, кожна формула, залежність, тощо мають ілюструватися практичним прикладом їх застосування з наданням студентам протягом практичних занять можливості самостійно розв'язати конкретне типове виробниче завдання. Перелік цих завдань може розроблятися разом з потенційними роботодавцями, що зайвий раз продемонструє їх актуальність та посприє підвищенню вмотивованості студентів у процесі навчання.

Так, наприклад в дисципліні «Механічні властивості на конструкційна міцність матеріалів» (аналог дисципліни «Basics of material science including fatigue behavior (BA)» при викладанні розділів, що стосуються конструкційної міцності доречно запропонувати розв'язувати задачі для визначення несівної здатності елементів конструкцій, безпечних розмірів конструктивних концентраторів напружень, тощо. Після встановлення відповідних величин, корисно запропонувати порівняти їх з визначеними раніше границею плинності та границею міцності матеріалу, з якого зроблена конструкція. Таке завдання продемонструє, що поява концентратора суттєво зменшує максимальне безпечне навантаження, а зміна форми концентратора може додатково зменшувати ці значення в декілька разів. Також дуже показові задачі на втомну поведінку, які виразно демонструють низький рівень руйнуючих напружень в таких випадках. Для додаткової наочності можна демонструвати фото чи відео результатів втомних руйнувань. Завершенням таких практичних завдань може бути курсова чи розрахункова робота, в процесі виконання якої студенти мають обрати матеріал для заданих умов експлуатації з врахуванням негативного впливу факторів конструкції.

Наступним етапом має бути оновлення методології проведення лабораторних робіт, при виконанні яких студенти повинні не лише опанувати методику виконання випробувань, але й навчитися обробляти результати вимірювань та аналізувати їх. Для формування умінь аналізувати результати студентам корисно ставити конкретні завдання. Наприклад, «з'ясувати можливість експлуатації даного матеріалу при визначених умовах». Таким чином, студенти за весь цикл лабораторних робіт, що вони виконують протягом терміну вивчення дисципліни, навчаються писати висновки з аналізом інформації, а не просто переписувати мету роботи, як це часто практикується в школах. Для полегшення цього процесу можна запропонувати користуватися наступною базовою конструкцією «ЩО? → НУ І ЩО?», схему якої наведено на рис.3:

**Таблиця для формування опису дисципліни**  
«.....»

<b>Стартові позиції</b>		
<b>Знання теоретичних правил та закономірностей</b>	<b>Практичні уміння (робота своїми руками)</b>	<b>Знання алгоритму дій в стандартних ситуаціях</b>
- Закон Гука, - базові знання з математики, - - - - -	- розрахунок похибок вимірювань - - - - -	- послідовність дій при вимірюванні мікротвердості - оформлення звітів з лабораторних робіт - - - -
<b>Фінішні позиції</b>		
<b>Знання теоретичних правил та закономірностей</b>	<b>Практичні уміння (робота своїми руками)</b>	<b>Знання алгоритму дій в стандартних ситуаціях</b>
- Закон Гріфитса - - - - -	- підготовка зразків до досліджень - проведення випробувань на однісний розтяг, стиск, закрут, згин - розрахунок несв'язної здатності виробу - - -	- послідовність дій при проведенні стандартних випробувань на однісне навантаження - аналіз експериментальних результатів - - -

Рис. 2 – Таблиця опису дисципліни з прикладами заповнення комірок для дисципліни «Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів».



Рис. 3 – Опорна схема написання висновків до лабораторної роботи

Виконання вищеописаного комплексу дій в процесі модернізації кожної навчальної дисципліни дозволить студентам набути всіх складових відповідної компетенції – від знань до досвіду дії в конкретній типовій професійній ситуації, успішне розв'язання якої залежить від наполегливості та націленості на результат.

Перелік посилань

1. Appel R. Standards of Engineering Degree Programmes, the Requirements of Industry? / The EUROPEAN Engineers. – Issue 12, March 2015. – P. 61-63.

## **ВПЛИВ МЕТОДУ КОМПАКТУВАННЯ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА ТА САМОФЛЮСІВНИХ СПЛАВІВ КОНСТРУКЦІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ЇХ СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ**

**Степанчук А.М.<sup>1</sup>, Демиденко О.А.<sup>2</sup>, Румянцева Ю. Ю.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> канд. техн. наук, професор, професор Національного технічного університету України, "КПІ"  
(astepanchuk@iff.kpi.ua)

<sup>2</sup> аспірант Національного технічного університету України, "КПІ", (grib41k@mail.ru)

<sup>3</sup> магістрантка Національного технічного університету України, "КПІ", (astepanchuk@iff.kpi.ua)

Одним з напрямів матеріалознавства є розробка нових матеріалів з використанням технології порошкової металургії. Тому у відповідності до проекту MMATENG, який передбачає розширення професійної компетенції фахівців з інженерного матеріалознавства, проведення наукових досліджень за участю студентів з розробки нових порошкових матеріалів є досить актуальною задачею. До таких матеріалів можуть бути віднесені порошкові матеріали конструкційного призначення.

Порошкові конструкційні матеріали на основі заліза є найбільш розповсюдженими видами продукції порошкової металургії. Типовими деталями конструкційного призначення, що виготовляються методами порошкової металургії, є зірочки, шестерні, кільця, шайби, заглушки, корпуси та інші деталі машин і приладів. Фізико-механічні властивості порошкових конструкційних матеріалів, при інших рівних умовах, визначаються щільністю виробів, а також їх структурою, зумовленою умовами їх отримання [1].

За умовами експлуатації порошкові конструкційні вироби розділяють на чотири групи: малонавантажені, помірнонавантажені, середньонавантажені і важко навантажені.

Особливе значення мають порошкові конструкційні матеріали для роботи в умовах високих навантажень. Для виготовлення важко навантажених деталей необхідно застосовувати матеріали підвищеної міцності, яка для порошкових матеріалів на основі заліза істотно залежить від пористості. Тому для повної реалізації властивостей порошкових матеріалів необхідно отримувати їх з мінімально можливою безпористою структурою. При цьому немає необхідності добиватися її подібності із структурою відповідних литих сталей, оскільки порошкові матеріали мають більш дрібнозернисту структуру, що забезпечує їх високі механічні характеристики.

Необхідну щільність деталей можна досягти, використовуючи високоенергетичні методи формування, просоченням пористих заготовок легкоплавкими металами (мідь, латунь, евтектичні сплави на основі заліза і інших металів), а також легуючи їх марганцем, нікелем, хромом, молібденом.

Одним з варіантів отримання порошкових матеріалів конструкційного призначення для роботи в важко навантажених вузлах, особливо коли кінцевою метою є отримання високої щільності виробів, може бути спікання вихідних пресовок у присутності рідкої фази або просочення пористих каркасів на основі заліза і його сплавів легкоплавкою металеву зв'язкою. При цьому як легкоплавку металеву складову, що утворює рідку фазу при спіканні або розплав якої просочує пористий каркас доцільно використовувати самофлюсівні сплави на основі нікелю або заліза. Останні мають відносно малу температуру плавлення у межах 980–1100<sup>0</sup>С залежно від їх складу та високі механічні характеристики – твердість та ударну в'язкість, зносостійкість [2]. Окрім того, такі сплави мають високу стійкість до окиснення [3].

В роботі досліджувався вплив умов отримання композиційних матеріалів конструкційного призначення з суміші порошків заліза і самофлюсивних сплавів (СФЗ) з вмістом останнього 10, 20 та 30%. Склад вихідних матеріалів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристика вихідних матеріалів

Порошки	Густина, г/см <sup>3</sup>	Твердість, МПа	Вміст елементів, %							
			Fe	Ni	Cr	Cu	P	C	Si	B
Заліза ПЖР-3.200	7,8	900	99,7		0,05	0,1	0,01	0,1		
СФЗ	8,0	9000	57,7	20	10	5	0,6	1,2	2,5	3

Для дослідження процесів компактування спіканням у середовищі водню та у вакуумі готували зразки пресуванням на гідравлічному пресі за оптимальних умов встановлених в роботі [4]. Так тиск пресування складав 550–600 МПа.

При дослідженні процесів компактування просочуванням готувались пресовки з пористістю необхідною для їх заповнення 10, 20 та 30 відсотками СФЗ. Для просочення готували зразки з СФЗ, які пресували з вихідного порошку СФЗ з використанням як зв'язки 2% розчину полівінілового спирту у воді при тиску пресування 400 МПа. Спікання у середовищі водню та у вакуумі проводили за температури 1200<sup>0</sup>С і витримці 45 хв. Просочування проводили в муфельній печі у середовищі водню за температури 1200<sup>0</sup>С і витримці 30 хв.

Аналіз результатів отриманих в роботі показує, структура композиційних матеріалів на основі заліза легованого СФЗ і, як наслідок, його властивості (твердість) залежить від складу матеріалу та методу його компактування. Як видно з рисунку 1 матеріали, які виготовлялись пресуванням з наступним спіканням у с середовищі водню мають пористість, яка, при інших рівних умовах, залежить від вмісту самофлюсивного сплаву. Так, при збільшенні вмісту СФЗ кількість пор зменшується але збільшується їх розмір.

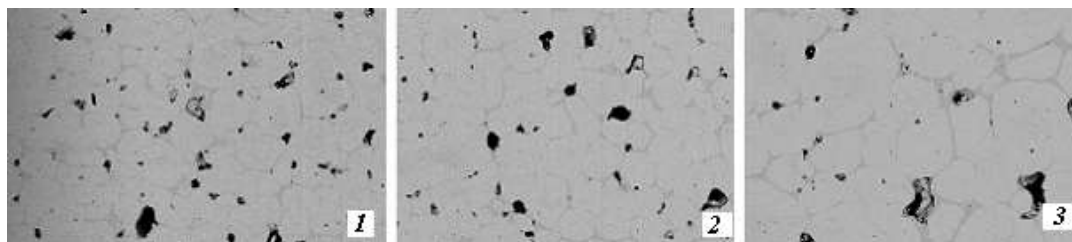


Рис. 1. Структура матеріалів спечених у середовищі водню: 1 – Fe+10%СФЗ (x100); 2 – Fe+20%СФЗ (x100); 3 – Fe+10%СФЗ, включення шлаку (x20)

Виникнення пористості в матеріалах може бути зумовлене тим, що у процесі спікання за заданих умов утворюється рідка фаза за рахунок плавлення СФЗ. У зв'язку з тим, що розплав СФЗ практично миттєво змочує поверхню частинок заліза [5], він проникає між ним і ізолює початкові пори. У подальшому процес спікання супроводжується заліковуванням пор. При цьому на цей процес впливають лапласівські сили, які виникають за рахунок дії поверхневих сил на скривленій поверхні розплаву СФЗ і направлені до центру пори, і сили тиску газу в закритих порах, які збільшуються при підвищенні температури за умов їх постійного об'єму. При цьому залежно від співвідношення цих сил може відбуватись усадка або зростання розміру зразків. При переважанні лапласівських сил над тиском газу

в закритих порах відбувається усадка зразків. У протилежному випадку навпаки – зростання їх об'єму. З часом відбувається коагуляція пор за рахунок поглинання дрібних більш крупними і кількість пор зменшується з одночасним зростанням їх розміру. Розглянуті процеси інтенсифікуються із збільшенням кількості рідкої фази, що і спостерігається у нашому випадку.

У випадку спікання матеріалів у вакуумі 0,3 Па структура їх однорідна і практично безпориста (рис.2, 2). Її можна характеризувати як “сотову”. У середині комірок (сот), які утворив розплав СФЗ, розміщене залізо. Слід зауважити, що на характер структури також впливає рівень вакууму. При спіканні у вакуумі 40 Па (форвакуум) в матеріалі присутні дрібні пори та незначна кількість шлакової фази (рис. 2, 1).

Такий характер структури матеріалу спеченого в вакуумі підтверджує можливий вплив на формування структури, зокрема наявності в ній пор, тиску газу в закритих порах, які утворюються при появі в матеріалі рідкої фази при плавленні СФЗ. При відсутності тиску газу в закритих порах при спіканні у вакуумі основною діючою силою, яка сприяє усадці матеріалу є лапласівські сили, що і є причиною безпористої структури.

Про можливий вплив закритих пор на формування структури матеріалів за участю заліза та СФЗ свідчать результати досліджень процесів компактування таких матеріалів методом просочення пористого каркасу з порошку заліза розплавом СФЗ. У цьому випадку згідно сутності процесів отримання порошкових виробів просочуванням [8], заповнення розплавом СФЗ пористого каркасу з порошку заліза відбувається направлено (однобічно) поступово. Розплав СФЗ під дією капілярних сил заповнює порові канали з одного боку і витісняє газ в інший бік (рис. 3). Як наслідок утворюється безпориста структура матеріалу.

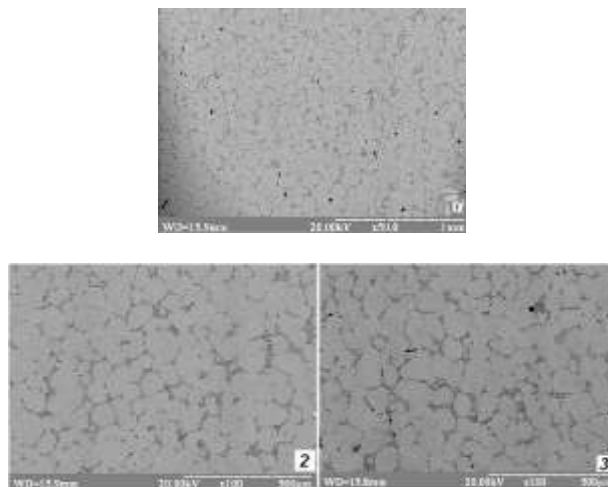


Рис. 2. Структура матеріалів отриманих спіканням у вакуумі та просочуванням:  
1 – спікання у вакуумі 40 Па.; 2 – спікання у вакуумі 0,3 Па.; 3 – просочення

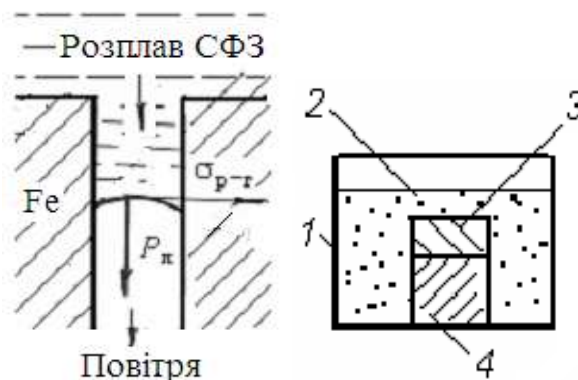


Рис. 3. Схема спікання просочуванням зверху: 1 – човник; 2 – засипка; 3 – брикет з СФЗ; 4 – пористий каркас з порошку заліза

Дослідження твердості отриманих матеріалів показало, що вона залежить як від складу матеріалу та методу його компактування так і від його структури.

При інших рівних умовах, твердість матеріалів залежить від вмісту в ньому СФЗ, який має значно більшу твердість ніж залізо. Чим більший вміст СФЗ в матеріалі, тим більше його твердість. Але вона не є інтегральною твердістю складових. При наявності пористості в матеріалі його твердість нижча ніж твердість чистого заліза. Зі зменшенням пористості твердість збільшується. Для безпористих матеріалів твердість залежить від методу їх отримання. Так матеріали отримані просочуванням та спіканням у вакуумі мають твердість низьку порівняно з твердістю самофлюсивного сплаву. А матеріали спечені у високому вакуумі мають твердість (55–57 HRC), яка перевищує твердість СФЗ. Останнє дає можливість стверджувати, що на твердість впливає вигляд структури матеріалу та якість контакту між фазовими складовими. Так найбільшу твердість мають матеріали які мають каркасну структуру, каркас якої утворив закристизований самофлюсивний сплав, як це має місце при спіканні у високому вакуумі або просочуванні.

Таким чином, унаслідок проведеної роботи було встановлено, що на структуру композиційних матеріалів впливає метод їх компактування. Матеріал спечений в середовищі водню в досліджених умовах як структурні складові фази заліза і СФЗ та пори, що зумовлено утворенням закритих пор при появі рідкої фази з розплаву СФЗ та наявністю поверхневих оксидів на частинках вихідного порошку заліза. Матеріал отриманий спіканням у вакуумі та просоченням в середовищі водню має двофазну (сотову) структуру у якій відсутні пори та шлакові включення.

Показано, що твердість матеріалу залежить від його складу, наявності пор та шлакових включень, якості контакту між фазовими складовими та вигляду структури. Найбільшу твердість мають матеріали отримані спіканням у вакуумі та які мають сотову структуру. \

Перелік посилань:

1. Степанчук А.Н., Билык І.І., Бойко П.А. Технологія порошкової металургії. Київ: "Вища школа", 1989. – 415 с.

2. Дубовий О. М., Степанчук А. М. Технологія напилення покриттів. Підручник. – Миколаїв: Видавництво НУК, 2007. – 235 с.

International Scientific-Methodological Conference «How to teach material sciences:  
new approaches and experiences from the MMATENG project»

---

3. *Степанчук А.Н., Нечипоренко А.А., Проценко Т.Г.* Высокотемпературное окисление самофлюсующихся сплавов на основе железа // Київ: В збірн. «Адгезия расплавов и пайка материалов». Вып.28,1992.– С.62-65

4. *Конструкційні* порошкові матеріали на основі заліза за участю самофлюсівних сплавів / А.М.Степанчук., О.А.Демиденко, А.В.Демиденко, К.В. Шаповал //Наукові вісті НТУУ”КПІ”. – 2012. – №1. – С. 51–60.

5. *Степанчук А.М., Шевчук М.Б., Велідченко М.М.* Взаимодействие расплавов самофлюсующихся сплавов со сталями и чугунами // Труды 3-й междунар. конф. “HighMatTech”. – Киев: 3– 7 октября 2011 . – С. 171

**NITRIDING WITH PRE-ACTIVATION OF THE SURFACE BY THE MAGNETIC  
ABRASIVE TREATMENT****Bobina M.N.<sup>1</sup>, Khizhnyak V.G.<sup>2</sup>, Solovar A.N.<sup>3</sup>, Arshuk M.V.<sup>4</sup>**<sup>1</sup>Ph.D., Docent of National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute”,  
Kyiv, Ukraine (marina351@rambler.ru)<sup>2</sup>D.Sc., Prof. of National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine<sup>3</sup>Assistant of National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine<sup>4</sup>Ph.D., Assistant of National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

Nitriding with pre-activation of the surface by the Magnetic Abrasive Treatment. The use of titanium and its alloys finds a place in the different sectors: aeronautics, mechanical engineering, chemical and food industries due to its specific strength, corrosion resistance, biological inertness. However, a characteristic of Ti is a tendency to stick, superficial pretension with other metals. This determines its low wear resistance and limits the use in friction mechanisms. Without additional hardening treatment the use of titanium alloys is limited. Therefore definitely there is an actual problem of development methods of titanium alloys surface hardening [1].

To increase operational characteristics of of titanium alloys is possible by different methods and ways, one of which is a surface hardening.

In this work had been investigated the effect of preliminary activation to the nitriding process of the working surface of blades of GTE compressor made from titanium alloy VT8.

Preliminary activation had been performed by magnetic abrasive powder, which consisted from a mixture of POLIMAM-T with a size of particles 200/100 microns - 80-90% and a spherical powder PR R6M5 with a size of particles 100/63 microns in an amount of 10-20%. The regime of Magnetic Abrasive Treatment: processing speed (2-3) m/s; magnetic induction 0.32 T, processing time (120-240) sec.

MAT contains the influence of an alternating magnetic field onto the treated sample and the processes which occurs during the collision of the tool surface with the powder - microcutting, microimpacts of abrasive particles, plastic deformation of the surface zone this leads the surface layers of metal in the active state, which plays an important role in absorption, surface diffusion, chemical reactions on the surface and diffusive processes in the surface layers that are rich in structural defects. Totality of action of these factors leads to a certain degree of strengthening of the workpiece surface layers.

Nitriding of blades from alloy VT8 like after MAT, as well as in original state, was carried out at a temperature of 900 ° C for 2 hours in a closed reaction space with a flow rate of nitrogen (0.3-0.5) liters per 1 m<sup>2</sup> of saturating surface.

X-ray structure analysis determined that on the surface of both samples formed titanium nitride TiN with almost the same period of the crystal lattice (Table 1).

Table 1 Microhardness and thickness of the obtained coating

Method of processing	The phase composition of coatings			The periods of the crystal lattice, nm	Thickness, microns	Microhardness, GPa
Nitriding	TiN			a=0,4252	1,5-2,0	18,3
	(α + β) -Ti(N)	α-Ti (N)	on the border of TiN	a =0,2913 c=0,4644	35-40	8,4
		β-Ti (N)		a=0,3255		10,0
Nitriding +	TiN			a=0,4252	5,0-6,0	18,5

International Scientific-Methodological Conference «How to teach material sciences:  
new approaches and experiences from the MMATENG project»

---

MAT	$(\alpha + \beta)$ -Ti(N)	$\alpha$ -Ti (N)	on the border of TiN	a =0,2913 c=0,4644	55-60	10,2
		$\beta$ -Ti (N)		a=0,3255		10,5

Under the layer of titanium nitride is a zone of solid solution of nitrogen in  $\alpha$ -Ti and  $\beta$ -Ti. The lattice parameters of  $\alpha$ -and  $\beta$ -solid solutions are also weakly depend from the state of the surface before saturation.

Preliminary activation of the surface affects on many aspects of the nitrated layer as its thickness and microhardness of the solid solution zone.

Upon heating up to temperatures of nitriding the mobility of dislocations increases.

Due to preliminary MAT in the surface layers there is a high density of dislocations, which facilitates the diffusion of the saturating atoms. It's allowed to significantly increase the depth of the diffusion layer and its microhardness (Table 1)

Activation of the surface by the Magnetic Abrasive Treatment allowed to get nitrated coating, on the blades of GTE compressor maded from VT8 alloy, which does not differ by the phase composition from the coating obtained on the inactivated surface, but it exceeds by the thickness in 1,5 times and by the microhardness of the solid solution – up to 25 %. The thickness of the nitride phase in the equal microhardness in the 2-2,5 times more.

#### List of references

1. Азотування титану та його сплавів [Текст]: наук. вид. [В.М.Федирко, .М.Погрелюк] – К.: Наук.думка, 1995.-226 с.

## РОЛЬ СМАЧИВАЕМОСТИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СПЕЧЕННЫХ БЕЗВОЛЬФРАМОВЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Степанчук А.Н.<sup>1</sup>, Витрянюк В.К.<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> канд. техн. наук, профессор, профессор НТУУ “Киевский политехнический институт”, Украина  
(astepanchuk@iff.kpi.ua)

<sup>2</sup> канд. техн. наук, ст. научн. сотр. НТУУ “Киевский политехнический институт”, Украина

Одним из вариантов расширения компетенции выпускников в области материаловедения в соответствии с проектом MMATENG может быть их профессиональная подготовка в области создания новых материалов и изделий из них. Одним из таких материалов являются безвольфрамовые твердые сплавы.

Производству безвольфрамовых твердых сплавов уделялось и уделяется в настоящее время большое внимание [1-3]. В ряде работ убедительно показано, что они во многих случаях могут конкурировать с наиболее распространенными твердыми сплавами на основе карбида вольфрама. В первую очередь это обусловлено доступностью исходного сырья – титана, который является сырьем для получения карбидов и нитридов (карбонитридов) титана – основы безвольфрамовых твердых сплавов [1].

Как правило, изделия из безвольфрамовых твердых сплавов изготавливают по общепринятой технологической схеме, которая включает операции подготовку исходного сырья с заданными свойствами, приготовление твердосплавных смесей состоящих из твердой составляющей сплавов (карбидов, нитридов и их сплавов) и металлической связки, прессования заготовок и их спекание [4].

Как известно [4], одним из главных требований, которые предъявляются к составляющим твердых сплавов является наличие смачиваемости расплавом их металлической связки (металлы подгруппы железа и их сплавы) твердой составляющей. Последнее обусловлено тем, что микроструктура и механические свойства спеченных твердых сплавов определяются не только свойствами тугоплавкой составляющей, но и физико-химическими явлениями, которые происходят на границе раздела фаз–твердой составляющей твердых сплавов и металлической связки. В процессе спекания твердых сплавов связка находится в жидком состоянии и оказывает существенное влияние на процесс усадки и формирование структуры и свойств конечного сплава в зависимости от смачиваемости твердой составляющей расплавами связующего металла.

Н.Е. Ехнер [1] на основании анализа результатов проведенных многочисленных исследований смачиваемости карбидов отмечает, что на поверхности раздела между карбидами и металлами подгруппы железа существует прочная химическая связь. Она особенно благоприятна для системы WC–Co, так как приводит к очень низкой межфазной энергии и, как следствие, к почти идеальной смачиваемости (краевой угол смачивания близкий к нулю) и, как следствие, очень хорошей адгезии между фазовыми составляющими в этой системе в твердом состоянии. При этом полное растекание расплава кобальта по поверхности карбида происходит независимо от среды смачивания (вакуум, водород, инертные газы).

В других системах карбид–связующий металл смачиваемость не столь совершенна (табл. 1). Эти результаты, полученные М. Humenik и N. Parikh [1] при изучении смачиваемости карбида титана расплавами железа, кобальта и никеля показали, что в среде водорода и гелия высокой степени чистоты и в вакууме  $1,33 \cdot 10^{-3}$  Па угол смачивания больше нуля. Добавки к никелю хрома, ниобия, тантала, вольфрама несколько снижают угол смачивания в вакууме, а в случае добавки 10 % молибдена он уменьшается до нуля.

Этими же авторами было установлено, что при спекании сплавов на основе композиции TiC–(Ni + 10 % Mo) наблюдается значительно меньший рост зерен карбида титана, а получаемый твердый сплав имеет достаточно высокие твердость, прочность и ударную вязкость, что подтверждает отмеченное нами выше о влиянии на эти характеристики смачиваемости.

Н.Е. Ехлер отмечает [1], что К.Таhtinen и М. Tikkanen (1978 г.) подтверждено влияние на краевой угол смачивания среды смачивания. Так, при смачивании карбида титана никелем при температуре 1400 °С в вакууме и сухом водороде (парциальное давление кислорода – 10<sup>9</sup> Па) угол смачивания составил 18 и 42° соответственно. Кроме того, сообщалось, что предварительное насыщение расплава никеля титаном или углеродом не оказывает влияния на смачивание и растекание.

В работе [5] при изучении смачиваемости нитридов и карбонитридов переходных металлов 1Уа-Уа подгрупп было установлено, что только для карбонитрида титана наблюдается сравнительно хорошая смачиваемость никелем и сплавом Ni–Mo (3:1), а чистый нитрид титана смачивается хуже, чем карбид титана.

Таблица 1 – Краевые углы смачивания карбида титана некоторыми металлами и сплавами

Металл (сплав)	Среда смачивания	
	Водород	Вакуум
Fe	46	41
Co	37	5
Ni	17	30
Ni + 10 %Cr	–	23
Ni + 10 %Nb	–	22
Ni + 10 %Ta	–	15
Ni + 10 %W	–	14
Ni + 10 %Mo	–	0

Смачивание сложного карбонитрида титана–тантала (Ti<sub>0,75</sub>Ta<sub>0,25</sub>)(C<sub>0,42</sub>N<sub>0,51</sub>) металлами подгруппы железа изучали в работах [6,7]. Показано, что краевой угол смачивания уменьшается в ряду металлов Fe–Co–Ni – в вакууме 24, 13 и 10° соответственно, а в азоте –109, 103 и 47°. Для указанных металлов краевые углы смачивания в вакууме для сложного карбонитрида меньше, чем для чистого карбида титана.

По данным приведенным в [1] имеет место снижение краевого угла смачивания никелем карбонитрида титана при добавлении 10 % карбидов в следующей последовательности NbC, VC, WC, TaC, Mo<sub>2</sub>C, что объясняется легированием, когда металлические атомы добавок диффундируют в никелевую фазу и тем самым способствуют уменьшению межфазной энергии на границе Ni–Ti(C, N).

Согласно данным, приведенным в монографии [1], смачиваемость твердых растворов (Ti, Ta, W)C расплавленным никелем в вакууме также снижается с увеличением в них карбида тантала:

Состав сплава, %:

TiC	76,5	71,5	66,5	61,0
TaC	–	5,0	10,0	15,5
WC	23,5	23,5	23,5	23,5
Угол смачивания, град.	28	27	24	20

Эти данные свидетельствуют о перспективности легирования твердых сплавов на основе карбида титана карбидом тантала.

В.С. Панов и др. [8] изучали взаимодействие карбида и карбонитрида титана с интерметаллическими соединениями NiAl, Ni<sub>3</sub>Al и NiTi, способными работать при высоких температурах в агрессивных средах, на предмет их возможного использования в качестве металлической связки безвольфрамовых твердых сплавов. Равновесные углы смачивания расплавами указанных никелидов горячепрессованных образцов карбида титана и карбонитрида состава TiC<sub>0,5</sub>N<sub>0,5</sub> с остаточной пористостью менее 3% в среде водорода не превышали 30° и резко уменьшались с повышением температуры. Практически полное смачивание в системе Ti(C, N)–Ni<sub>3</sub>Al и TiC–Ni<sub>3</sub>Al достигается при температуре 1700 °С, а в системе TiC–NiAl при 1800 °С.

Результаты исследования смачиваемости TiC<sub>1-x</sub>N<sub>x</sub> расплавами никеля, кобальта, а также сплавами 75 % Ni + 25 % Mo и 75 % Ni + 25 % W приведены в монографии [1]. Показано, что наилучшие показатели смачиваемости у сплава 75 % Ni + 25 % Mo.

*Как отмечается в [1], заметное влияние на свойства карбида титана и смачиваемость его расплавами металлов оказывает содержание углерода в пределах области гомогенности. Так, например, при уменьшении содержания углерода от 50 до 37 % ат. угол смачивания TiC расплавом никеля уменьшается с 20 до 0°.*

Таким образом, из приведенных результатов исследований можно наметить некоторые пути улучшения смачиваемости карбида и карбонитрида титана при изготовлении твердых сплавов. Однако имеющиеся данные все же недостаточно проясняют механизм смачивания и влияние различных добавок на величину краевого угла смачивания. Здесь важно было бы установить, насколько смачиваемость зависит от степени растворимости добавок в твердой составляющей и в металлической связке; что важнее; в какой последовательности это происходит; целесообразно ли с этой точки зрения использование комплексной связки не Ni–Mo, а Ni–Co, о чем сообщается в целом ряде патентов (ведь кобальт значительно дороже никеля; или его роль – достижение более высоких прочностных характеристик); как изменяется смачиваемость этими комбинациями связующего металла при варьировании соотношения углерода и азота в интервале N/(C + N) – от 0 до 0,5 в карбонитриде титана и т. п.

Выяснение этих вопросов позволило бы на научной основе подходить к вопросам легирования как твердой составляющей – карбида и карбонитрида титана, так и цементирующей связки.

Перелік посилань:

1. Витрянюк В.К., Степанчук А.Н. Спеченные безвольфрамовые твердые сплавы. – Киев: ЗАО «Випол», 2011. – 248 с.
2. Клячко Л.И., Самойлов В.С. Современные тенденции применения безвольфрамовых инструментальных материалов. – М.: НИИМаш, 1981. – 54 с.
3. Clark E. B., Roebuck B. Extending the Application Areas for Titanium Carbonitride Cermets // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials.–1992. –11. – P. 23-33
4. Степанчук А. Н., Билык И. И., Бойко П. А. Технология порошковой металлургии. – К.; Вища школа, 1989. – 415 с.
5. Kieffer R., Ettmayer P., Freudhofmeier M. Uber neuartige Nitrid-und Karbonitrid-hartmetalle //Metall. – 1971.– Bd 25.– S. 1335-1342
6. Смачивание сложного карбонитрида титана-тантала сплавами на основе железа /О. В. Семенов, Н. В. Петров, Л. Г. Масхулия, С. С. Орданьян //Изв. ВУЗов “Химия и хим. техн.”. – 1994. – 37, №4-6. – С. 112-114
7. Смачивание твердого раствора карбонитрида титана-тантала металлами группы железа /О. В. Семенов, Н. В. Петров, Л. Г. Масхулия, С. С. Орданьян //Порошковая металлургия.– 1994.– №11-12.– С. 31-36.

International Scientific-Methodological Conference «How to teach material sciences:  
new approaches and experiences from the MMATENG project»

---

8. *Панов В. С., Туманов А. В., Коц Ю. Ф.* Взаимодействие карбида и карбонитрида титана с никелидами //Порошковая металлургия. – 1986. – №10. – С. 81-84.

**ВПЛИВ ВІДПАЛУ У МАГНІТНОМУ ПОЛІ НА МАРТЕНСИТНІ  
ПЕРЕТВОРЕННЯ В СПЛАВІ Cu-Al-Mn****Л. Демченко<sup>1</sup>, А. Тітенко<sup>2</sup>, О. Марецький<sup>3</sup>**<sup>1</sup> канд. техн. наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ, Україна, (lesyademch@gmail.com)<sup>2</sup> канд. техн. наук, с.н.с., Інститут магнетизму НАН України, Київ, Україна, (titenko@imag.kiev.ua)<sup>3</sup> студент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ, Україна, (aleeksandr.maretskij@yandex.ru)

Фазові перетворення мартенситного типу притаманні широкому класу матеріалів та сплавів, для яких характерні структурні ознаки, що визначають особливості їх утворення і фізичні властивості. Пріоритетність в дослідженнях нових матеріалів належить сплавам, в яких структурно-фазові перетворення мартенситного типу реалізуються в феромагнітній матриці. Серед них варто відокремити сплави Гейслера, інтерметалічні сполуки Co-Ni-Al, Co-Ni-Ga і сплави на основі Fe. Не менш привабливим є механізм протікання мартенситного перетворення (МП), який реалізується при розпаді твердих розчинів з виділенням феромагнітних наночастинок в неферомагнітній матриці. Така поведінка характерна для сплавів Cu-Co, Cu-Ni-Fe, Cu-Ni-Co, Ni-Mn. В потрійній системі сплавів Гейслера Cu-Mn-Al можлива реалізація МП, коли в твердих розчинах утворюються концентраційні неоднорідності. Роль таких неоднорідностей виконують когерентні наночастинок, які виділяються при розпаді високотемпературної  $\beta_1$ -фази сплаву Cu-Al-Mn, що когерентно пов'язані з матрицею і при цьому не зазнають спонтанного МП при охолодженні. Мартенситні кристали успадковують з аустеніту когерентні частинки, кристалічна ґратка яких змінюється за рахунок пружної деформації, що обумовлена зміною умов сполучення ґраток наночастинок та матриці при МП.

Змінюючи режими старіння високотемпературної фази, можна суттєво впливати на процес розпаду [1], що може призводити до суттєвої зміни характеристичних температур і гістерезису МП в сплавах Cu-Mn-Al. Дотримуючись певних умов в процесі старіння можна досягати ситуації, яка призводить до підвищення температури початку МП  $M_s$  і зменшення температурного гістерезису  $\Delta T$  МП. Перша умова пов'язана із збідненням  $\beta_1$ -матриці марганцем, друга - із зменшенням деформації форми перетворюваної області в результаті зменшення пружної енергії  $E_e$  на границі розділу фаз. В роботі [2] встановлена кореляція між часом відпаду (збільшенням об'ємної долі наночастинок, що виділяються) при температурі 200°C та величиною температурного гістерезису МП, яка має немонотонний характер. Недавні дослідження показали, що сплави Cu-Mn-Al з високим вмістом Mn мають прийнятні механічні властивості, що відкриває можливість їх практичного застосування в медицині [5,6].

Для розвитку уявлень про природу і характер протікання МП представляє великий інтерес вивчення морфології протікання МП сплаву Cu-Al-Mn в результаті старіння високотемпературної фази з використанням відпаду в постійному магнітному полі з різною орієнтацією зразка по відношенню до поля, що було зроблено вперше, а також з безпосереднім керуванням самого процесу індукування МП. Для дослідження з метою вибору оптимального режиму термічної або термомагнітної обробки обрано сплав постійного хімічного складу, який має найменшу величину температурного гістерезису МП. Метою роботи було встановлення характеру зміни особливостей протікання мартенситного перетворення під впливом температурного поля в залежності від режиму термічної обробки сплаву як в магнітному постійному полі різної орієнтації, так і без нього.

Сплав Cu-Al-Mn було виплавлено в індукційній печі в атмосфері аргону. Хімічний склад сплаву, визначений за даними енергодисперсійного рентгено-флюоресцентного аналізу по методу фундаментальних параметрів із збудженням енергетичного спектра, складає: Cu 85,3 мас.%, Al 9,2 мас %, Mn 4,3 мас %. Після гомогенізуючого відпалу при 1123 K тривалістю 10 годин зразки загартовували в воду, після чого відпалювали при постійній температурі 498 K протягом 3 годин. Постійне магнітне поле напруженістю 1,23 кЕ створювалося шляхом підбору ферромагнітних пластин, які були рознесені на відстань, потрібну для розміщення в його зазорі електронагрівача із зразком.

Фазовий склад зразків сплаву Cu-Al-Mn після загартування та відпалу у магнітному полі і без поля при різних режимах представлено на рис. 1. Як результат загартування у воду від 1123 K високотемпературна  $\beta_1$ -фаза сплаву зазнає індукованого мартенситного перетворення, в наслідок чого утворюється  $\beta_1'$ -мартенсит з орторомбічною ґраткою (рис. 1, а). Відомо, що відпал призводить до виділення частинок другої фази, когерентно пов'язаної з матрицею [1, 2]. Після відпалу зразків при 498 K протягом 3 годин без магнітного поля спостерігається перерозподіл інтенсивностей дифракційних максимумів внаслідок старіння мартенситної фази і утворення  $\text{Cu}_3\text{Al}$  ( $\beta_1$ -фази) з ГЦК ґраткою (рис. 1, б).

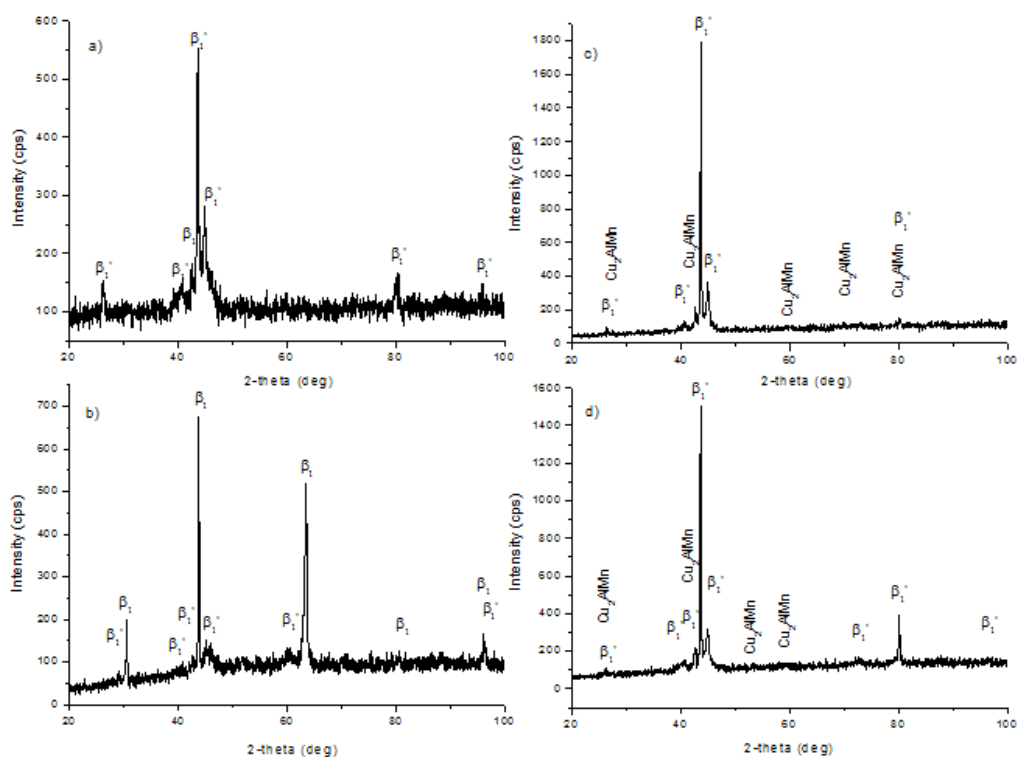


Рис. 1 Дифрактограми зразків сплаву CuAlMn, отримані в монохроматизованому випромінненні Cu-аноду: а) після загартування, б) після відпалу без магнітного поля, с) після

відпалу у перпендикулярному головній осі зразка магнітному полі, d) після відпалу у паралельному головній осі зразка магнітному полі

Відпал у магнітному полі сприяє виділенню з  $\beta_1'$ -мартенситної матриці дисперсних частинок феромагнітної  $\text{Cu}_2\text{AlMn}$  фази, про що свідчить поява слабких ліній цієї фази на відповідних кутах (рис. 2. с, d), а зміна орієнтації зразка по відношенню до напрямку дії магнітного поля (перпендикулярно або паралельно) впливає на її кількість.

Згідно результатам вимірювань низькопольової магнітної сприйнятливості сплаву  $\text{Cu-Al-Mn}$  при різних режимах старіння (рис. 2) має місце незначне підвищення  $M_s$  – температури початку прямого  $\beta_1 \leftrightarrow \beta'$  перетворення після відпалу в магнітному полі, а також зменшення ширини гістерезису МП  $\Delta T$  ( $\Delta T = A_f - M_s$  – гістерезис МП, де  $A_f$  – температура кінця зворотного переходу,  $M_s$  – температура початку прямого перетворення). Підвищення  $M_s$  в даному випадку пояснюється збідненням  $\beta_1$ -матриці марганцем. Менша амплітуда стрибка переходу  $\chi/\chi_{\text{max}}$  для зразків з термомагнітною обробкою пов'язана з переважною орієнтацією наночастинок, що виділяються, в напрямку прикладеного зовнішнього магнітного поля. В випадку обробки без магнітного поля сфероподібні концентраційні неоднорідності розподіляються в зразку переважно хаотично, на відміну від термомагнітної обробки, яка впорядковує зародкоутворення наночастинок фази  $\text{Cu}_2\text{MnAl}$ .

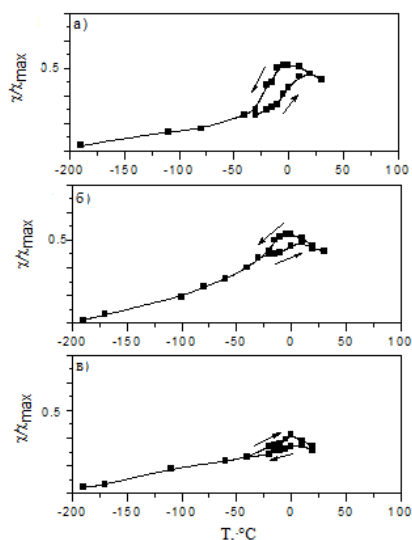


Рис. 2 Температурні залежності низькопольової магнітної сприйнятливості сплаву  $\text{Cu-Al-Mn}$  при різних режимах старіння після загартування від  $850^\circ\text{C}$  та відпалі  $225^\circ\text{C}$  протягом 3 годин: а) без поля; б) в перпендикулярному магнітному полі; в) в паралельному магнітному полі; стрілками позначено нагрів-охолодження

Вплив термомагнітної обробки на величину магнітної сприйнятливості пояснюється тим, що магнітні характеристики досліджуваного сплаву визначаються взаємодією наночастинок фази виділення. При цьому наночастинки, які знаходяться в межах мартенситних кристалів, піддаються впливу значних когерентних напружень, обумовлених невідповідністю кристалічних ґраток мартенситу і наночастинок, що призводить до виникнення магнітної анізотропії ансамбля наночастинок. Ця невідповідність кристалічних ґраток стрибкоподібно зростає, коли кубічна ґратка аустенітної матриці

перетворюється в орторомбічну ґратку мартенситу, і, таким чином, температурний хід магнітної сприйнятливості, обумовлений відповідною зміною магнітної анізотропії наночастинок.

Як впливає з рис. 1 і 2, кількість наночастинок, що виділяються, є максимальною у випадку відпаду в паралельному магнітному полі. В свою чергу, збільшення числа наночастинок, що виділяються, стимулює зростання температури початку прямого МП і зменшення гістерезису МП.

Зменшенню температурного гістерезису МП сприяє збільшення об'ємної доли наночастинок фази виділення, яка призводить до зменшення деформації перетворення, і, як результат, до зменшення пружної енергії  $E_e$  системи [3].

В роботі зроблена спроба керування процесом фазоутворення при старінні високотемпературної фази за допомогою постійного магнітного поля напруженістю 1,23 кЕ для оптимізації параметрів протікання мартенситного перетворення в сплаві Cu-Al-Mn. За допомогою феноменологічної теорії дифузійного розпаду і отриманих експериментальних результатів вдалося пояснити поведінку та з'ясувати причини протікання індукованого мартенситного перетворення в сплаві. Можна вважати, що прикладання магнітного поля стимулює утворення феромагнітних наночастинок при розпаді твердого розчину. Крім того, термомагнітна обробка допомагає створювати ефективні центри зародкоутворення наночастинок в сплаві Cu-Al-Mn при старінні високотемпературної фази.

Таким чином, при відпаді в магнітному полі створюються умови, які сприяють збільшенню кількості утворених феромагнітних наночастинок в неферомагнітній матриці, про що свідчать результати вимірювання магнітних властивостей матеріалу зразка, а саме польових залежностей намагніченості і низькопольової магнітної сприйнятливості.

Для подальшого розуміння процесів розпаду на протікання мартенситного перетворення планується продовжити роботу в напрямку дослідження мікроструктурних особливостей фазоутворення.

Перелік посилань

1. И.А. Арбузова, Л.В. Титов, Л.Г. Хандрос, *Металлофизика*, 69: 83 (1977).
2. V.V. Kokorin, L.E. Kozlova and A.N. Titenko *Scripta Mat.* 47: 499 (2002).
3. Ю.В. Осинская, С.С. Петров, А.В. Покоев А.К.Раджабов, В.В. Рунов, *ФТТ*, 54, №3: 531 (2012).
4. Л.П. Гунько, В.В. Кокорин, О.М. Шевченко, *ФММ*: № 10: 204 (1991).

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЙ И УСВОЕНИЯ МАТЕРИАЛА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «ТЕХНОЛОГИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ» НА ПРИМЕРЕ ПРЕПОДАВАНИЯ ДЛЯ РУССКИХ, ФРАНЦУЗСКИХ И ТУРЕЦКИХ СТУДЕНТОВ**

**Корчунов А.Г.<sup>1</sup>, Копцева Н.В.<sup>2</sup>, Полякова М.А.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>д-р техн. наук, профессор, МГТУ им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия, (agkorchnov@mail.ru)

<sup>2</sup>д-р техн. наук, профессор, МГТУ им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. (kopceva1948@mail.ru)

<sup>3</sup>канд. техн. наук, доцент, МГТУ им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия  
(m.polyakova-64@mail.ru)

К настоящему времени в мировом технико-экономическом развитии можно выделить жизненные циклы пяти последовательно сменявшихся друг друга технологических укладов. Ключевыми факторами доминирующего сегодня технологического уклада являются микроэлектроника и программное обеспечение. Сегодня формируется воспроизводственная система нового, шестого технологического уклада. Нанотехнологии преобразования веществ и конструирования новых материальных объектов, а также клеточные технологии изменения живых организмов, включая методы геной инженерии, электронная промышленность, информационные технологии являются ключевыми факторами, составляющими ядро шестого технологического уклада [1].

По приближенным оценкам, в ближайшее десятилетие кадровые потребности мировой наноотрасли составят не менее 2 млн специалистов, а потребность России в нанотехнологах составит не менее 30 тыс. человек ежегодно [2]. Естественно, их надо готовить на всех образовательных уровнях: от школы до вуза. «Стратегия развития nanoиндустрии» [3] предъявляет новые требования к системе образования в сфере нанотехнологий: «Образование в XXI веке должно стать по-настоящему доступным и непрерывным. Междисциплинарный подход будет постепенно приходить на смену отраслевому, что сформирует условия для подготовки специалистов с системным мышлением – лидеров, способных воспринимать нанотехнику как сплав индустрии, науки, экономики и духовной организации общества».

Многофакторность нанотехнологий выделяет их как специфическую область междисциплинарных научных и инженерных знаний. Развитие таких технологий будет в значительной степени зависеть от наличия групп высококвалифицированных специалистов, обладающих знаниями в таких областях, как физика, химия, биология, медицина, прикладная и вычислительная математика, электротехника, материаловедение и машиностроение. Поэтому вопрос подготовки научных, инженерных и рабочих кадров для nanoиндустрии требует разработки специальных образовательных программ и подходов к преподаванию [4, 5].

В Магнитогорском государственном техническом университете им Г.И. Носова (МГТУ им. Г.И. Носова) в 2010 г. открыта новая специальность 210602 «Наноматериалы» для студентов очной и заочной форм обучения. Образование в области нанотехнологий – дело новое, каждый вуз сам решает, что нужно преподавать, на что делать упор. Разнообразие направлений в развитии наноматериалов не может не отразиться на системе образования. Разные технологии требуют различных подходов в обучении. Поскольку нанотехнологии многообразны, то без определённой специализации не обойтись. МГТУ им. Г.И. Носова является одним из ведущих вузов в области проведения фундаментальных исследований особенностей структурообразования и формирования свойств углеродистых сталей при различных видах деформационного наноструктурирования. Близость промышленных предприятий металлургической и метизной отраслей, многолетний опыт сотрудничества

ученых университета и специалистов данных предприятий позволяет применять имеющиеся результаты теоретических исследований для разработки инновационных технологических процессов производства металлоизделий из наноструктурных сталей. Научно-практические разработки последних лет доказывают перспективность и возможность внедрения нанотехнологий в действующие технологические процессы производства металлоизделий различного назначения [6]. Ведущие ученые университета из числа профессорско-преподавательского состава вуза используют имеющиеся богатые знания в области нанотехнологий при преподавании соответствующих дисциплин, что позволяет реализовать один из основных принципов обучения – принцип научности, т.е. соответствие содержания образования уровню развития современной науки и техники [7].

Принцип фундаментальности и прикладной направленности обучения требует основательной теоретической и практической подготовки студентов [7]. В традиционной дидактике он формулируется как связь обучения с жизнью, теории с практикой. Обучение российских студентов в области нанотехнологий построено таким образом, что на первых курсах они получают базовые знания по фундаментальным дисциплинам: физике, математике, химии, биологии. На старших курсах им преподается ряд специальных дисциплин, среди которых имеются теоретические дисциплины, например «Физикохимия наночастиц и наноматериалов», «Физикохимия наноструктурированных материалов», «Конструирование нанотехнологий», а также дисциплины, в ходе которых они изучают прикладные аспекты нанотехнологий «Процессы и оборудование для получения наноматериалов», «Методы и приборы для изучения, анализа и диагностики наноматериалов» и др. Подготовка лекций по специальным дисциплинам непосредственно начинается с разработки структуры рабочего лекционного курса по данной дисциплине. Руководством здесь служит рабочая программа, учитывающая специфику содержания образования в высшем профессиональном образовательном учреждении. Рабочая программа динамична, и каждый преподаватель имеет возможность внести в нее свои изменения. Количество часов, выделяемых для проведения лабораторных/практических занятий, позволяет закрепить теоретические знания, получаемые на лекциях.

Принцип научности имеет отношение и к методам обучения [7]. В соответствии с ним педагогическое взаимодействие должно быть направлено на развитие у учащихся познавательной активности, креативного мышления, творчества. Для повышения познавательной активности студентов лектор может использовать ряд приемов: постановка перед студентами вопросов - риторических или требующих реального ответа, включение в лекцию элементов беседы, предложение сформулировать те или иные положения или определения. Это позволяет установить межпредметную связь при изучении специальных дисциплин, с другой стороны проверить уровень остаточных знаний по изученным ранее дисциплинам.

Одной из проблем обучения основам нанотехнологий является то, что для проведения наглядного эксперимента требуется дорогостоящее оборудование. Действующий в МГТУ им. Г.И. Носова НИИ наносталей и ресурсный центр оснащены современным исследовательским оборудованием, которое также используется при проведении лабораторных занятий со студентами. Студенты изучают современные методы анализа наноструктур и наноматериалов с использованием растрового электронного микроскопа JEOL JSM-6490 LV (Япония), стереомикроскопа MeijiTechnoRZ-B (Япония), инвертированного металлографического микроскопа Maiji IM-7200 (Япония). Для изучения механических свойств имеются универсальные испытательные машины AG IC-300 kN и AG IC-50 kN (Япония), универсальный твердомер M4C075G3 Emco Test (Австрия), копер маятниковый

МК 300 (Россия). Основы физического моделирования процессов обработки материалов студенты изучают с использованием комплекса Gleeble 3500 (США).

В последнее время все большую актуальность приобретает использование интерактивных и мультимедийных технологий в образовании. Так, в рамках софинансирования по проекту TEMPUS MMATENG Магнитогорским государственным техническим университетом им. Г.И. Носова был приобретен учебно-методический аппаратно-программный комплекс «Многомасштабное моделирование в нанотехнологиях NanoModel.ru», который представляет собой локальную вычислительную сеть (компьютерный класс), на компьютерах которой установлена интерактивная платформа с единым веб-интерфейсом, включающая в себя компьютерные модели, расчетные модули, алгоритмы и визуализаторы, моделирующие нанообъекты и наноструктурированные материалы. Комплекс предоставлен компанией ООО «СИАМС» [8]. Комплекс предназначен для проектирования и виртуального прототипирования новых материалов и устройств на основе проведения компьютерных вычислительных экспериментов, а также для использования в учебном процессе ВУЗа при выполнении студентами научно-исследовательских и курсовых работ и проведении виртуальных лабораторных практикумов. Для осуществления расчетов применяется «облачная» платформа, которая использует компьютерные ресурсы и мощности отдельного вычислительного узла, а не рабочих станций, что позволяет сохранять результаты проведенных вычислений в одном месте, облегчая их дальнейший анализ.

Все вышеперечисленные факторы позволяют организовать процесс обучения российских студентов на высоком уровне, обеспечивают такое сочетание теоретических и лабораторных/практических занятий, которое способствует быстрому усвоению оригинального учебного материала в области нанотехнологий. Использование профессорско-преподавательским составом результатов научных исследований в области нанотехнологий при чтении лекций делает процесс обучения действительно увлекательным, сокращает разрыв между теорией и практическим применением получаемых знаний. Последовательность изучения фундаментальных дисциплин базовой части учебного плана, а затем специальных дисциплин позволяет установить межпредметную связь и подготовить квалифицированных специалистов, востребованных в различных сферах деятельности.

В МГТУ им. Г.И. Носова также учатся и студенты из зарубежных стран (Франции, Турции и др.). Система образования за рубежом имеет существенные отличия от существующей в России системы образования прежде всего тем, что студенты сами выбирают те предметы, которые им необходимо изучить для дальнейшей карьеры. С другой стороны, они приезжают в университет и зачисляются на третий-четвертый курсы, имея багаж знаний по базовым дисциплинам, которые они изучили либо у себя на родине, либо в других зарубежных вузах. Как правило, срок обучения составляет один семестр, причем количество часов лекционных и лабораторных/практических занятий не совпадает с соответствующими часами, которые установлены учебным планом обучения российских студентов. Еще одной специфической особенностью процесса обучения студентов из Франции и Турции является то, что все дисциплины им необходимо преподавать на английском языке, поскольку они приезжают на обучение в университет, не имея базового уровня знаний русского языка. Все эти факторы накладывают определенные ограничения как на процесс организации обучения студентов из этих стран, так и на методику преподавания соответствующих предметов.

Одной из основных проблем обучения студентов из Франции и Турции является языковой барьер. С одной стороны, не все преподаватели в университете владеют английским языком на уровне, необходимом для проведения занятий. С другой стороны, российские студенты в своем подавляющем большинстве не способны воспринимать

и понимать предметную область дисциплины на английском языке. Поэтому студенты из Франции и Турции обучаются по индивидуальному расписанию в группе не более 5 человек. Обратной стороной медали такого обучения является то, что иностранные студенты по ряду дисциплин ограничены в общении на занятиях с российскими студентами, медленнее адаптируются в незнакомой среде, им не хватает ежедневного общения на разговорном русском языке.

Ограниченность часов лекционных и лабораторных/практических занятий требует от преподавателя более тщательной подготовки к занятиям, подбора материала для лекционных занятий, планирования проведения возможных лабораторных/практических занятий. Кроме того, преподавателю довольно сложно установить и оценить уровень базовой подготовки студентов, какие предметы они уже изучили и каково было соотношение часов лекционных и лабораторных занятий. Это приводит к тому, что порой довольно проблематично объяснить и показать иностранным студентам междисциплинарность нанонауки и нанотехнологий.

Для лучшего усвоения материала, для объяснения основных принципов разработки технологий наноматериалов, для описания перспектив их применения преподавателю необходимо в одном небольшом по количеству часов предмете для студентов из Франции и Турции «соединить» как теоретические курсы, так и прикладные вопросы нанотехнологий. При этом перед преподавателем стоит довольно непростая задача: не только сформировать представление о наноматериалах, их разнообразии, технологиях получения и уникальных свойствах, но также познакомить студентов с разнообразием наноматериалов и наноструктур и их свойствами. На лабораторных занятиях иностранные студенты имеют возможность поработать на современном исследовательском оборудовании НИИ наносталей МГТУ им. Г.И. Носова. С этой точки зрения лабораторные занятия ничем не отличаются от занятий российских студентов.

Однако эти проблемы нисколько не умаляют стремление студентов из Франции и Турции узнать как можно больше о технологиях наноматериалов. По их мнению учиться по данному предмету сложно, но интересно. В процессе обучения они также, как и российские студенты, проявляют целеустремленность, инициативу, усердие, умение логически мыслить, самостоятельно высказывать свою точку зрения. Индивидуальность преподавателя и тот факт, что он может постоянно совершенствовать содержательную часть занятий благодаря собственным исследованиям, знакомству с вновь принятыми нормативными актами и их проектами, актуальной литературой, научному общению с коллегами и т.п., обогащает содержание дисциплины «Технология наноматериалов» действительно оригинальными, а возможно, и уникальными научными данными.

#### Перечень ссылок

1. Нанотехнологии как ключевой фактор нового технологического уклада в экономике / Под ред. академика РАН С.Ю.Глазьева и профессора В.В.Харитонов. М.: «Гривант». 2009. 304 с.
2. <http://www.rusnanonet.ru/news/24779/>. Дата обращения 18 мая 2015 г.
3. Поручение Президента Российской Федерации от 24 апреля 2007 г. № Пр-688. Президентская инициатива «Стратегия развития nanoиндустрии».
4. Шишов С.Е. Формирование кадрового потенциала для высокотехнологичной экономики. Нанотехнологии. Экология. Производство. 2009. № 2. С. 66-71.
5. Жабрев В.А., Марголин В.И. Проблемы nanoобразования как зеркало общих проблем высшего образования России. Нанотехнологии. Экология. Производство. 2009. № 2. С. 70-73.
6. Рубин Г.Ш., Полякова М.А., Чукин М.В., Гун Г.С. Протипология – новый этап развития стандартизации метизного производства. Сталь. 2013. № 10. С. 84 – 87.

7. Принципы обучения <http://www.grandars.ru/college/psihologiya/principy-obucheniya.html>. Дата обращения 18 мая 2015 г.

8. Siams.com.



## **THE BOLOGNA PROCESS IS A WAY OF THE UKRAINE'S INTEGRATION INTO EUROPEAN EDUCATIONAL SPACE**

**Zoya Duriagna<sup>1</sup>, Eduard Pleshakov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> professor, National University "Lviv polytechnic", Lviv, Ukrain. (zduriagina@ukr.net)

<sup>2</sup> assistant professors, National University "Lviv polytechnic", Lviv, Ukrain,  
(ed.matchak@gmail.com)

At present 46 European countries, including Ukraine, are participants of this process. Launched in 1999 by the Ministers of Education and university leaders of 29 countries, the Bologna Process aims to create a European Higher Educational Area (EHEA). It should be noted that this process doesn't foresee the formation of identical educational systems in member-countries. Its main task is to improve the mutual understanding and strengthening of relations between different educational systems. Several projects have been proposed by the European community with the aim to enhance the integration of Eastern countries in the Bologna process [1-4]. One of them is the educational program TEMPUS, launched in 1990 for improvement of educational systems in 27 EU member-states and partner-countries. It provides a financial support for realization of structural reforms of higher education, interuniversity cooperation on improvement and application of educational programs, development of scientific and methodical investigations [5]. Ukraine has been an active participant of TEMPUS program since 1993, the time of joining it [6].

We fulfill project "Modernization of two cycles (MA, BA) of competence-based curricula in Material Engineering according to the best experience of Bologna Process — 543994-TEMPUS-1-2013-1-BE-TEMPUS-JPCR" (MMATTENG), which operates for 3 years (2013-2016)

The main goal of the MMATTENG project - to improve the quality of training of specialists in the field of materials science - is realized via:

- analysis and modernization of educational programs of qualification levels of Bachelor and Master in materials science;
- formation of modernized educational programs with the integrated infrastructure support;
- introduction of computer-integrated technologies in educational process;
- training and retraining of lecturers of member-countries by participation in trainings, seminars on the base of EU Universities, enterprises and companies-developers of software products;
- creation of training-scientific laboratories "Material Engineering Service-Office" (MESO).

Thus, realization of the "MMATTENG" program will allow the higher schools of Eurointegrated countries to develop a common platform for specialists training in the field of materials science and will form prospects for the development of didactic and scientific cooperation.

Directions of "MMATTENG" project realization by AMSME chair .

High schools – coordinators of "MMATTENG" project – proposed to introduce the following disciplines into the training process:

- "Metallurgy", "Microstructure investigation technique" and "Damage and reliability of materials" — Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Lille (ENSCL);
- "Technologies and applications of Superconductive materials", "Effective communication with groups, presentation techniques" and "Survival in Labor Market (carrier managing)" — Technische Universität Berlin (TU Berlin);
- "Materials Selection", "Basics of material science incl. fatigue behavior", "Light weight materials for transportation applications", "CAD-CAM - CAE Siemens NX" — Katholieke Universiteit Leuven (KU Leuven);

International Scientific-Methodological Conference «How to teach material sciences:  
new approaches and experiences from the MMATENG project»

---

- “Strengthening technologies of materials treatment” — Pryazovskyi State Technical University;
- “Nano materials technologies” — Nosov Magnitogorsk State University;
- “Materials from renewable source” and “Project management (business planning, funding, marketing, performance)” — Cracow University of Technology;

Realization of the “MMATTENG” project by the chair of applied materials science and materials treatment of the National University “Lviv Polytechnic” started from the analysis of current training plans for students in the direction 6.050403 “Engineering materials science” and in speciality 8.05040301 “Applied materials science” and also their comparison with the disciplines proposed by the “MMATTENG” project. Programs of some disciplines were very similar by content to those recommended by the project and didn’t require special matching. These subjects were as follows (Table 1).

Table 1 - Curricular MMATENG-TEMPUS

№	Curricular	Дисципліна ЛП	Рівень	Викладач
1	Metallurgy	Металознавство	Б	Дурягіна З.
2	Materials from renewable sources	Неметалеві матеріали Розділ. Відновлювальні технології	Б	Тепла Т.
3	Damage and reliability of materials	<i>Деградація й надійність матеріалів</i> Замість <i>Процеси теплової обробки</i>	М	Плешаков Е.
4	Basics of material science incl. fatigue behavior	Механічні властивості й конструкційна міцність	Б	Плешаков Е.
5	Materials Selection	Принципи вибору матеріалів Замість Принципи створення матеріалів	М	Тепла Т.
6	Light weight materials for transportation applications	Кольорові метали і сплави Розділ Легкі матеріали для транспорту	Б	Богун Л.
7	Microstructure investigation technique	Структурні методи досліджень	Б	Ромака В.
8	Strengthening technologies of materials treatment	Зміцнювальні технології матеріалів Замість Засади підвищення працездатності виробів	М	Богун Л.
9	Technologies and applications of Superconductive materials	Фізика та хімія поверхні Розділ Технології й засто-	М	Дурягіна З.

		сування надпровідникових матеріалів			
10	Nano materials Technologies	Наноматеріали й технології Замість Сучасні проблеми фізичного матеріалознавства		М	Гростянчин А.
11	CAD-CAM - CAE Siemens NX	Комп'ютерне моделювання виробів та оптимізація їх властивостей (CAD/CAM/CAE)		М	Гростянчин А.
12	Effective communication with groups, presentation techniques				Ромака В.
13	Project management (business planning, funding, marketing, performance)				Швачко С.

- "Metal Science" ("Metallurgy");
- "Structure investigation technique" ("Microstructure investigation technique");
- "Principles of materials selection" ("Materials Selection").

Other disciplines of the project will be used as separate modules in disciplines of training Bachelors and Masters in the field of materials science:

Module "Materials from renewable sources" in discipline "Non-metallic materials";

- Module "Technologies and applications of superconductive materials" in discipline "Physics and chemistry of surface";

- Module "Basics of material science incl. fatigue behavior" in discipline "Mechanical properties and structural strength of materials";

- Module "Light weight materials for transportation applications" in discipline "Non-ferrous metals and alloys";

Remaining disciplines of the project were introduced by the AMSME chair into educational programs for training specialists in materials science, namely:

- "Damage and reliability of materials";

- "Nano materials technologies";

- "CAD-CAM - CAE Siemens NX";

- "Strengthening technologies of materials treatment";

- "Effective communication with groups, presentation techniques";

- "Survival in Labor Market (carrier managing)";

- "Project management (business planning, funding, marketing, performance)".

- At present the staff of AMSME chair works intensively on introduction of the developed recommendations under the project in the educational process: lecturers develop educational working programs of new disciplines and modules, lecture summaries, work out the methods of laboratory and practical lessons, in cooperation with assistance staff prepare the methodical materials for lessons, they are preparing to deliver these disciplines and modules in English.

- With the MMATENG project support (computer class, integrated package CAD/CAM/CAE of modern NX9 version, CES EduPack software, equipment) the Material

International Scientific-Methodological Conference «How to teach material sciences:  
new approaches and experiences from the MMATENG project»

---

Engineering Service-Office (MESO) was created at AMSME chair. A strategic task of MESO is the application of the results of the TEMPUS MMATENG project for scientific investigations and training of competitive specialists in materials science. The main directions of its activity are:

- Development and realization of innovation educational-scientific programs in engineering materials science, based on modern achievements of science, technology, mechanisms of students involvement in research activity on all levels of educational process;
- Formation of educational working programs on engineering materials science with account of the requirements and proposals of industry partners and prospective employers;
- Development of end-to-end educational programs on engineering and applied materials science according to EU standard that foresee the issue of double diplomas of higher education (including post-graduate courses) on the base of high schools of Poland, Germany, France, and Belgium;
- More intensive international mobility of students, lecturers and scientists in the field of engineering materials science;
- Monitoring and assessing the demands of the region in applied developments on engineering materials science;
- Engineering-technical and research activity in the field of materials science to the order of management subjects;
- Organizing and holding trainings and retraining of specialists – materials scientists, specialists in heat-related problems, specialists in casting for companies of different ownership of the Western region of Ukraine;
- Systematic advanced training of lecturers in materials science of the university and related chairs in high schools of the Western region, using information technologies in educational activity;
- Conducting scientific researches on the formation of creative teams, which will include scientific-pedagogical experts, doctoral candidates, post-graduate students, masters;
- Widening of scientific cooperation with NAS establishments, national branch academies and high schools of Ukraine;
- Development of the system of common scientific-educational centers with participation of foreign companies and high-technology firms.

List of references

1. Згуровський М. З. Болонський процес: головні принципи та шляхи структурного реформування вищої освіти України. — К.: Політехніка, 2006.
2. Журавський В. С., Згуровський М. З. Болонський процес: головні принципи входження в Європейський простір вищої освіти. — К.: Політехніка, 2003.
3. Болонський процес у фактах і документах / Упорядники Степко М. Ф., Болюбаш Я. Я., Шинкарук В. Д., Грубіянюк В. В., Бабин І. І. — К., 2003.
4. Основні засади розвитку вищої освіти України в контексті Болонського процесу (документи і матеріали 2003—2004 років) / За редакцією В. Г. Кременя. — К., 2003.
5. Розроблення освітніх програм. Методичні рекомендації / Авт.: В.М. Захарченко, В.І. Луговий, Ю.М. Рашкевич, Ж.В. Таланова / За ред. В.Г. Кременя. — К.: ДП “НВЦ “Пріоритети”, 2014. — 108 с.
6. [www.tempus.org.ua](http://www.tempus.org.ua) (ТЕМПУС)

## IMPLEMENTATION OF COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES WITHIN THE MMATENG PROJECT

Lidiya Bohun<sup>1</sup>, Tetiana Tepla<sup>2</sup>

<sup>1</sup> assistant professors, National University “Lviv polytechnic”, Lviv, Ukraine, (lidabohun@gmail.com)

<sup>2</sup> assistant professors, National University “Lviv polytechnic”, Lviv, Ukraine. (teplatanya@mail.ru)

A wide use of computer-integrated technologies is the basis of not only production and science quality and efficiency but also of education. Mastering of computer technologies by students- materials science researchers will allow them in their professional activity to make the most optimal decisions: from design modeling and selection of the components materials via creation of the technological processes of their manufacture to prediction and assessment of their service properties.

Students training and their work in open information and computer-integrated systems starts with mastering the elementary computer software for computer aided design (CAD), computer-aided manufacture (CAM), computer- aided engineering (CAE) and ends with mastering the industrial- licensed programs.

Within the project activities the MMATENG chair of the National University “Lviv polytechnic” was presented the computer class AB, integrated package CAD/CAM/CAE of modern version NX9 by the company Siemens PLM Software and educational program CES EduPack 2014 by the company Granta Design. Training in KU Leuven gave the opportunity to the lectures to make acquaintance with those up-to-date program resources during master classes organized by the representatives of companies Siemens PLM Software (Germany) and Granta Design (University of Cambridge, Great Britain) (Fig. 1.) [1].

The NX resources of CAD/CAM/CAE system are highly-productive, integrated solutions for engineering and technological design including all basic functionality, necessary for solving the tasks of engineering training. In Ukraine NX occupies the sound positions due to the wide possibilities of this system use in different branches of industry of Ukraine (aviation, machine-building, ship-building and other industries). Its use simplifies and enhances the processes of the components development by engineers when creating innovative products, thus ensuring their competitiveness on the market.

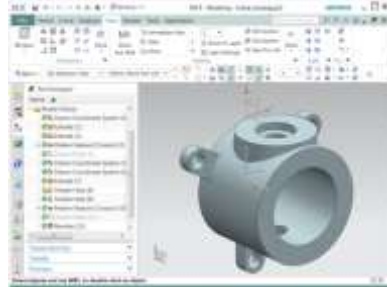
The modern version of NX Student Edition available for students training possesses all possibilities of commercial NX version for modeling, however it does not include the functions of CAE- and CAM. Through participation in the MMATENG project the students, post-graduate students and scientific and teaching staff of AMSME chair had access to the complete NX9 resource (Fig. 1) [2-4]. Attachment CAD to NX resource [2, 4] contains a system of three-dimensional hybrid solid modeling, providing everything necessary for an engineer working with a solid, surface and wire-frame model. The navigator visually represents the model elements, order of its construction, allows us to select the structural elements, change them and connections between them efficiently. The history of model construction can be observed step-by step, copied and it is possible to insert into a model structural elements of unlimited number. Moreover, a designer can work directly with geometrical elements of a 3D model, thus enabling the introduction of the necessary changes both into parametrized and non-parametrized model, transform surfaces and solids into typical elements and also introduce them in the design data base for the repeated use. It is possible to create families of components and control them, to form libraries of standard products used at enterprises.

The presence of associative connection between components significantly simplifies the work: when one part is changed all other parts related with it automatically move or even change their geometry. A three-dimensional model of packaging arrangement allows estimating of the possibility of mounting and demounting of different aggregates of the design product, conven-

ience of access to them. The above mentioned makes it possible not only to improve the project quality but also to reduce its creation time and costs.



a



б

Fig. 1 Master-class on mastering the computer program CAD NX9 (a) and example of object made by solid modeling (b) [3].

A key component of the technological design system is the CAM NX 9 attachment, which contains complete software package for components manufacturing on machines with a digital control system. A wide set of CAM functions allow treatment of the components of complex configuration, like turbine blades, moulds, punches. The better control over cutting zones in manufacturing cast and weld tools, more rapid programming due to simultaneous treatment of several elements increase the effectiveness of creation of the treatment programs. New programming tools of the checking-measuring systems in NX9 enable measuring of components of different configuration. A module of measuring results analysis proposes new tools, powerful graphical medium for visualization of measuring. The NX9 enhances the development of instrument models thanks to the easier access to the library of standard components of cast and die tools.

Computer-aided engineering (CAE) is the integral part of NX9 software product. The attachment proposes modern tools and solutions for modeling of structural, thermal, in-line, kinematic tasks and further optimization and control over modeling and design data. It consists of the main integrated modules: NX Nastran – instrument for solving problems of solid deformation mechanics by the finite element analysis method (FEA); NX Thermal – for solving a wide spectrum of thermal problems; NX Flow – for modeling problems of hydro-gas-dynamics and heat mass exchange.

NX Nastran module [4, 5] allows the construction of a finite elements mesh based on the existing geometry. All performed constructions are related associatively with the model of the component and therefore when changing the component parameters they are automatically changed too. When the finite element model is built, the module proposes a wide choice of calculation methods, including the stress-strain state, eigenfrequencies and oscillations, stability, durability and so on. To model casting a special module is created. By setting a calculation model, which is related associatively with the component geometry, it is possible to analyze the casting process by the time of pouring, probability of air bubbles formation, lines of flows fusion and obtaining a final ingot. The library of typical materials is used in calculations. There are also tools of visual emulation of the process. The results of analysis include the animation of the cast front movement, time of form filling, location of junction lines and temperature variation during casting. All mentioned above makes it possible to evaluate the applicability of the created model and if necessary to introduce the required changes. All attachments and modules of NX 9 resource are deeply integrated and associatively related with the data base of the resource. In this way the main principle of NX is realized: once introduced information is used in the work of other modules when solving various tasks.

To introduce NX9 in the educational process a corresponding infrastructure (in particular the computer class with software) was prepared at the AMSME chair, special educational program of the discipline “CAD-CAM - CAE Siemens NX” was developed, and a possibility to use NX 9 for solving separate engineering problems, e.g in the discipline “Mechanical properties and structural strength of materials” was considered. This resource will be applicable during study and use of modern 3-D printing technologies of the components both during laboratory lessons and also for industrial application in different branches of materials and components manufacture. The spectrum of materials for 3D- printing is extremely wide: from metals and metal alloys to non-metal, composite and powder-sintered materials. In the training program this technology was paid main attention to: methods of manufacturing products and workpieces on modern 3 –D printers were considered, schemes of formation and structure-formation, advantages and their restrictions were characterized [6]. For example, for some types of components the use of 3-D printing can be limited by the formation of anisotropic structure. On the other hand this technology can be actively integrated in the traditional manufacturing processes. For example in 3-D printing it can be used instead of preliminary compression operation before sintering as a highly-efficient operation to compare with compression. In foundry engineering it allows to obtain accurate models that can be manufactured from different materials.

From the point of view of preparation of specialists in engineering materials science the software CES EduPack of company Granta Design is of a special interest (Fig. 2). The CES software was created together with the leading materials science experts and programming specialists of Cambridge University, therefore the materials science aspects and modern computer possibilities are successfully combined in this software [7-9].

The software is based on the wide data base, allowing to select from all groups of metal , non-metal, composite materials and modern biomaterials the one most suitable for the given component production. By entering the initial properties into the program (mechanical, physical, economic and other) a required group of materials can be separated from which, by introducing additional parameters, one can choose this only material most optimal for a component manufacturing [9]. Applying this software the selected material can be completely described: its chemical composition, physical and mechanical properties, possible way of manufacturing, economic and environmental suitability of its use. When necessary different types of surface treatment can be suggested and assessment of the properties change of selected materials after treatment can be done. One more interesting thing is that the program allows to choose cheap materials. Recently in the world practice the cheap materials – plastic materials, composite materials, ceramics and many others - have often been substituted for expensive steel materials. All these materials are described, illustrated in detail, their properties and ways of manufacturing are presented on the screen and economic suitability is compared by plots with those for steels, iron and nonferrous metals.



Fig. 2 Branches of application of CES Edu Pack software (from presentation [9]).

Since recently people care about the planet cleanness, a special accent is done in the CES EduPack software on ecology-friendly and sustainable development of materials. Using this program students study how to select materials not only by their functional properties but also by their

biological features, ability for recycling and decomposition time. That is, when using the software such materials can be selected which meet not only the requirements for mechanical physical, chemical and technological properties but will be also environment-friendly.

One thousand (1000) universities and colleges worldwide are now using the CES EduPack software and teaching resources to support their training on materials in engineering, science, processing, and design. Therefore the introduction of this software in Ukraine will not only improve the efficiency of professional training in materials science but will also allow our students to integrate into the education process of European high schools within the program of students academic mobility. In the process of students training at AMSME chair the CES EduPack software will be used in many professional-oriented disciplines: “Material Science”, “Heat Treatment” “Non-ferrous metals and alloys”, “Non-metallic materials”, “Alloys with special properties”, “ Powder and composite materials” and other.

Except of the environmental aspect, the problem of application of resource-saving technologies and new materials, which are more and more actively introduced into production, is very important. In this relation this problems must be paid much attention to when preparing materials science specialists. For example, ceramic and composite materials can be full-value substitutes of the existing metallic materials. At present instead of high-strength, heat-resistant and refractory steels the leading automobile, aviation and aerospace EU companies investigate and introduce composite materials [10], in particular with frequent use of 3D printing technologies. Main advantages, that stipulate the use of composite materials, is the possibility of the last to provide the required service characteristics, to decrease the construction weight and to prepare a solid assembly which is usually manufactured of several units. This allows one to obtain the higher service parameters of aircraft with less consumption of fuel.

#### List of references

1. <https://iiv.kuleuven.be/denayer/programmaMMATENG>
2. Ming C Leu, Albin Thomas, Krishna Kolan. NX 9.0 for Engineering Design/ Missouri University of Science and Technology / <https://web.mst.edu/~mleu/NX9.0%20Manual.pdf>
3. Hans Valkenaers. “Siemens NX9, startup course” and practice session of Siemens NX9. Presentation. TEMPUS MMATENG KU Leuven - Department of Mechanical Engineering Mechanical Engineering, train the trainer sessions 19-30 January 2015.
4. Peter Arras, Kurt Coppens, Matthias Faes. Computer Aided Design. Theory and applications in NX/Nastran . Technology Cluster. KU Leuven - Department of Mechanical Engineering Mechanical Engineering. - Juli, 2014 .
5. Christoph Vandeveldel. Workshop by Siemens Industry Software. Workshop all day on CFD and FLOW (numerical simulation techniques) in NX. (CAE Product/Business Manager BeNeLux).\_Presentation.TEMPUS MMATENG KU Leuven - Department of Mechanical Engineering Mechanical Engineering, train the trainer sessions 19-30 January 2015.
6. Jasper Cerneels “The process of joining materials to make object from 3D model data, usually layer upon layer, as opposed to subtractive manufacturing methodologies” ASTM F2792. Presentation. TEMPUS MMATENG KU Leuven - Department of Mechanical Engineering Mechanical Engineering, train the trainer sessions 19-30 January 2015.
7. D R H Jones and Michael F. Ashby. Engineering Materials 1: An Introduction to Properties, Applications and Design Fourth Edition - Sep 26, 2011
8. D R H Jones and Michael F. Ashby. Engineering Materials 2: An Introduction to Microstructures and Processing (International Series... Fourth Edition: - Dec 19, 2012
9. Dr Claes Fredriksson. CES Workshop on material properties and selection of materials. Presentation.TEMPUS MMATENG KU Leuven - Department of Mechanical Engineering Mechanical Engineering, train the trainer sessions 19-30 January 2015.

10. Jan Ivens “Basics of Material Sciences, our approach”.TEMPUS MMATENG KU Leuven - Department of Mechanical Engineering Mechanical Engineering, train the trainer sessions 19-30 January 2015.



**DFT MODELING OF TiNi<sub>2</sub>Sn PRECIPITATES FORMATION IN TiNiSn MATRIX****Romaka V.V.<sup>1</sup>, Trostianchyn A.M.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Ph.D., Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine (romakav@lp.edu.ua)<sup>2</sup>Ph.D., Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine (trostianchyn@gmail.com)

Numerous thermoelectric materials have been developed, but only some of them suitable for high temperature utilization. To such materials belong thermoelectric Half-Heusler phases (HH) that crystallize in cubic  $F-43m$  space group ( $SG$ ) and MgAgAs structure type ( $ST$ ). Recent investigations of these materials [1-3] showed that the formation of nanoinclusions (precipitates) of Full-Heusler phase (FH) inside the Half-Heusler matrix is the new way to significant improvement of their thermoelectric figure of merit ( $Z$ ). Such improvement is caused by the formation of additional centers of phonon scattering on the grain boundaries due to the deformation of the crystal structure and formation of point defects. To check the solubility of additional Ni atoms in TiNiSn Half-Heusler phase and shed a light on the crystal and electronic structure of TiNiSn-TiNi<sub>2</sub>Sn grain boundaries the DFT modeling was performed.

The first principles DFT calculations were carried out using Elk v2.3.22 package [4] – an all-electron full-potential linearized augmented-plane wave (FP-LAPW) code with Perdew-Burke-Enzerhoff exchange-correlation functional in generalized gradient approximation (GGA) [5]. The APW basis set cut-off used in the calculations was set to 190 eV, and the  $k$ -grid was equal or higher than  $20 \times 20 \times 10$   $k$ -points. Before the final total energy calculations the geometry of the initial structures (lattice vectors and atomic coordinates) was completely relaxed. The proper values of the muffin-tin radii were selected automatically at the initial stage of the calculations. In general case the enthalpy of formation ( $\Delta H$ ) at  $T = 0$  K was calculated according to the following formula:  $\Delta H$  (meV/atom) =  $10^3 (E_{\text{tot}}(\text{Ti}_a\text{Ni}_b\text{Sn}_c) - a (E_{\text{tot}}(\text{Ti})/j) - b (E_{\text{tot}}(\text{Ni})/k) - c (E_{\text{tot}}(\text{Sn})/l))/(a + b + c)$ , where  $a, b, c$  – number of each type of atoms in the crystal lattice of compound used in calculations;  $j, k, l$  – number of atoms in the crystal lattice of Ti, Ni, and Sn, respectively, used in calculations;  $E_{\text{tot}}$  – the total energy of compound in eV. For the thermodynamic calculations the entropy of mixing and appropriate temperature were taken into account. VESTA package was used for visualization of the electron localization function distribution.

The results of the thermodynamic calculations showed that the solubility of additional Ni atoms in TiNiSn depends on the temperature (Fig. 1a). At 0 K the formation of interstitial solid solution TiNi<sub>1+x</sub>Sn is practically absent and at 1073 K two local minima appear on the curve of the thermodynamic potential. At intermediate temperature (673 K) the local minimum is observed only from the TiNi<sub>2</sub>Sn phase and this result is in a good agreement with experimental results [6].

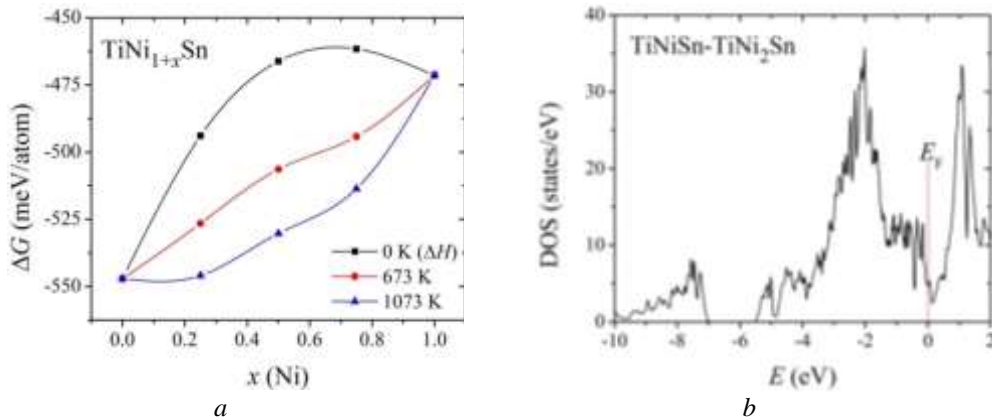


Fig. 1. The distribution of the thermodynamic potential ( $\Delta G$ ) in  $\text{TiNi}_{1+x}\text{Sn}$  solid solution (a) and the total density of electronic states (DOS) in  $\text{TiNiSn-TiNi}_2\text{Sn}$  structure (b)

The modeling of the coherent grain boundary between  $\text{TiNiSn}$  and  $\text{TiNi}_2\text{Sn}$  phases was performed by partial diffusion of Ni atoms of  $\text{TiNiSn}$  phase with formation of  $\text{TiNi}_2\text{Sn}$  phase (Fig. 2). The crystal structure optimization of this system showed that the values of the lattice parameter of  $\text{TiNi}_2\text{Sn}$  subcell are in the range  $0.60766\text{--}0.67062$  nm. The values of the lattice parameter of  $\text{TiNiSn}$  subcell are in the range  $0.58693\text{--}0.58686$  nm. This difference in crystal structure geometry leads to the deformation of the initial structure and shifting of atoms from original positions (Fig. 2). Such deformation causes additional scattering of phonons and affects the lattice thermal conductivity term.

The analysis of the density of states distribution (Fig. 1b) revealed the presence of the additional band in the energy gap at Fermi level. This result predicts lowering of the electrical resistivity with formation of  $\text{TiNi}_2\text{Sn}$  nano-inclusions in the matrix of  $\text{TiNiSn}$  semiconductor. Significant difference of the electronic structure inside the grains of  $\text{TiNiSn}$  and  $\text{TiNi}_2\text{Sn}$  and at their boundaries opens the new way for improvement of the thermoelectric performance of Half-Heusler materials.

The distribution of the electron localization function ( $\gamma$ ) (Fig. 3) shows that its localization between Ni and Sn strongly depends on the fragment (subcell) of the structure. In the FH subcell the localization is rather low and indicates mainly metallic bonding between Ni and Sn atoms. In the intermediate subcell (FH/HH) the bonding between Ni and Sn atoms is stronger and in the HH subcell electron localization function between them has the highest values. This indicates high impacts of the covalent bonding on the structure formation. Similar electron localization function distribution takes place between Ti and Ni atoms.

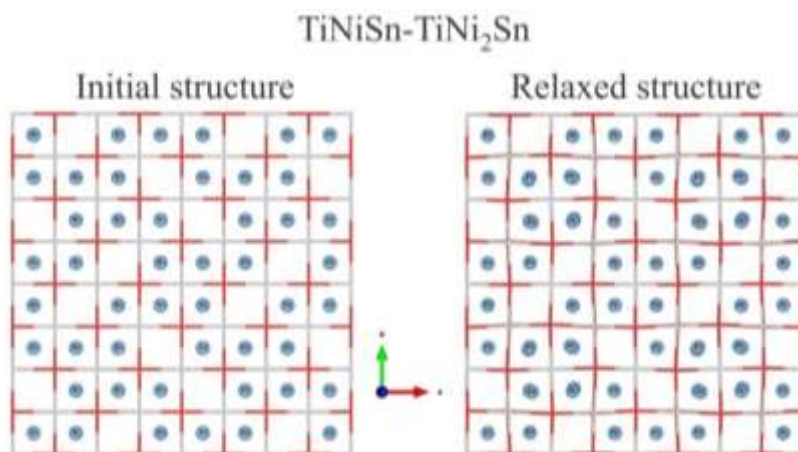


Fig. 2. The initial and the relaxed model of the TiNiSn-TiNi<sub>2</sub>Sn crystal structure

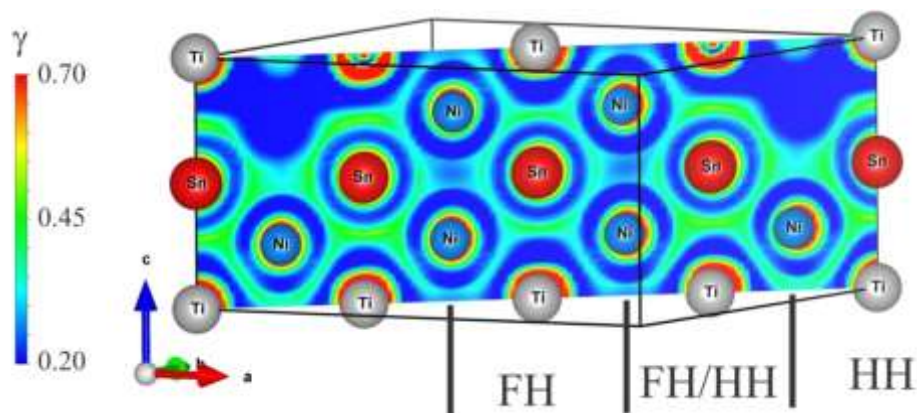


Fig. 3. Distribution of the electron localization function along the lattice plane in TiNiSn-TiNi<sub>2</sub>Sn structure

The DFT calculations allowed us to explain and predict the structure and physical properties of the Half-Heusler material with Full-Heusler precipitates and gave the key for modeling of new thermoelectric materials with promising thermoelectric performance.

List of references:

1. Kirievsky K., Gelbstein Y., Fuks D. Phase separation and antisite defects in the thermoelectric TiNiSn half-Heusler alloys. *J. Solid State Chem.* 203 (2013) 247-254.
2. Xie W., Weidenkaff A., Tang X., Zhang Q., Poon J., Tritt T.M. Recent Advances in Nanostructured Thermoelectric Half-Heusler Compounds. *Nanomaterials* 2 (2012) 379-412.
3. Romaka V.V., Rogl P., Romaka L., Stadnyk Yu., Grytsiv A., Lakh O., Krayovskii V. Peculiarities of structural disorder in Zr- and Hf-containing Heusler and half-Heusler stannides. *Intermetallics* 35 (2013) 45-52.
4. [elk.sourceforge.net](http://elk.sourceforge.net) - an all-electron full-potential linearised augmented-plane wave (FP-LAPW) code
5. Perdew J., Burke K., Ernzerhof M. *Phys. Rev. Lett.* 77 (1996) 3865-3868.
6. Romaka V.V., Rogl P., Romaka L., Stadnyk Yu., Melnychenko N., Grytsiv A., Falmbigl M., Skryabina N. Phase equilibria, formation, crystal and electronic structure of ternary compounds in Ti-Ni-Sn and Ti-Ni-Sb ternary systems. *J. Solid State Chem.* 197 (2013) 1003-112.



**ПОЄДНАННЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ  
У КОНТЕКСТІ КОМПЕТЕНТІСНОГО ПІДХОДУ****Гулай О. І.<sup>1</sup>, Шемет В. Я.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>канд. техн. наук, доцент ЛНТУ, Луцьк, Україна, (hulay@i.ua)<sup>2</sup>канд. хім. наук, доцент ЛНТУ, Луцьк, Україна

Одним з головних завдань вищої освіти є формування професійної компетентності випускника, яка має узагальнену (еталонну) модель у вигляді освітньо-кваліфікаційної характеристики фахівця і передбачає ідеальний кінцевий результат, тобто підготовку фахівця, який опанував необхідні знання, уміння, навички творчої діяльності, має відповідний світогляд та ерудицію, інтелектуальний рівень, набув навичок самоосвіти, в якого сформовані професійні якості, моральна, естетична, екологічна культура. Впровадження у навчальний процес результатів фундаментальних та прикладних наукових досліджень, якими займаються викладачі вищих навчальних закладів, органічно вписується у концепцію компетентнісної парадигми вищої освіти.

Компетентнісний підхід кардинально відрізняється від традиційного «знаннєвого» за функціями викладача і студента у процесі навчання, за метою навчальної діяльності та результатами навчання, у той же час він має багато спільних рис із особистісно орієнтованим та діяльнісним підходами, оскільки ґрунтується на особистості студента і може бути зреалізованим і перевіреном тільки в процесі виконання конкретною особою певного комплексу дій [1]. Він потребує трансформації змісту освіти, перетворення його з моделі, яка існує об'єктивно, для «усіх» студентів, на суб'єктивні надбання кожного конкретного студента, які можна виміряти та оцінити. Компетентнісний підхід акцентує увагу на результатах освіти, причому в якості результату освіти розглядається не сума засвоєної інформації, а здатність людини діяти у різних проблемних ситуаціях [2].

На нашу думку, компетенція – це ціль освітньої діяльності, а компетентність – міра, ступінь, повнота її досягнення конкретним суб'єктом освітньої діяльності. На основі аналізу літературних джерел зобразимо **структуру компетентності** (див. рис. 1). Компетентність, на нашу думку, інтегративно поєднує особистий досвід та знання, взаємопов'язані мотивацією та цінностями особистості. Результатом поєднання є пізнавальні та практичні вміння, які дозволяють судити про рівень компетентності особи [2].

Окреслимо досвід впровадження результатів наукових досліджень у навчальному процесі, який реалізується викладачами кафедри матеріалознавства та пластичного формування конструкцій машинобудування Луцького національного технічного університету. Презентоване дослідження здійснене в рамках участі кафедри матеріалознавства та пластичного формування конструкцій машинобудування (М та ПФКМ) Луцького національного технічного університету у міжнародному проєкті «Модернізація навчальних планів дворівневої програми підготовки (бакалаври/магістри) з інженерного матеріалознавства на основі компетентнісного підходу та найкращого досвіду з впровадження положень Болонського процесу (MMATENG)» 543994-TEMPUS-1-2013-1-VE-TEMPUS-JPCR Міжрегіональної програми Європейського сусідства і партнерства TEMPUS. За Законом України від 12.10.2010 № 2519-17 пріоритетним напрямом розвитку науки і техніки визнано фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави. З 2013 року науковцями кафедри здійснюється фундаментальне дослідження за рахунок видатків державного бюджету «Нові халькогеніди рідкісноземельних металів: синтез, структура та властивості» [3].

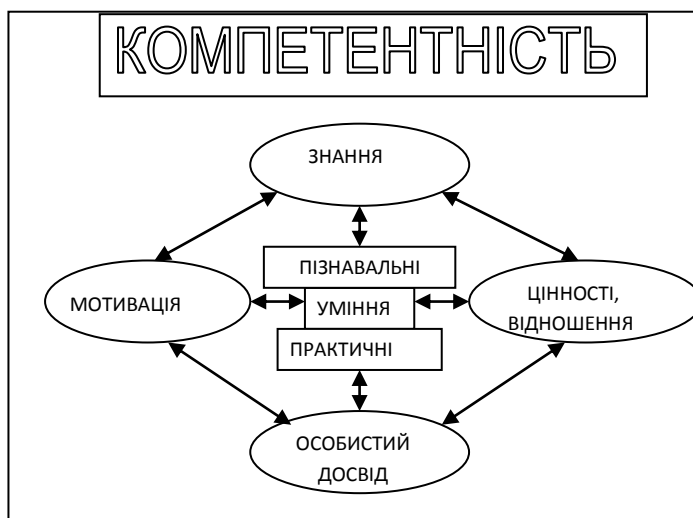


Рис. 1. Структура компетентності особистості

Систематичне дослідження багатокомпонентних систем з метою побудови діаграм стану, пошуку нових сполук, встановлення умов їх утворення, вивчення їх кристалічних структур і властивостей є необхідною умовою поповнення бази даних нових матеріалів. Встановлення взаємозв'язку між складами сполук, їх структурою і властивостями дозволяє вести цілеспрямований пошук нових матеріалів з наперед заданими властивостями. Узагальнення і систематика експериментальних даних про діаграми стану, кристалічні структури і властивості дасть можливість встановити закономірності та особливості взаємодії компонентів в цих системах; виявити кристалохімічні особливості структур сполук; вивчити взаємозв'язки між складом і структурою; зробити процес пошуку нових матеріалів на їх основі цілеспрямованим, полегшить дослідження споріднених систем.

Науково-технічний прогрес вимагає постійного пошуку нових матеріалів, що відповідають вимогам сучасної техніки. Отримання сполук шляхом збільшення кількості компонентів, які входять до їхнього складу, таких як тернарні, тетрарні, стало одним із основних напрямків такого пошуку. Дослідження багатокомпонентних систем є важливим етапом у формуванні банку нових матеріалів. Халькогеніди є перспективними об'єктами наукових досліджень завдяки специфічним термічним, електричним і оптичним властивостям. Матеріали на їх основі застосовуються в інфрачервоній та лазерній техніці, нелінійній оптиці, термоелектричних генераторах, запам'ятовуючих пристроях.

Отримані результати мають не тільки наукове та практичне, але й навчально-методичне значення. Впровадження наукових результатів відбувається чотирма основними напрямками:

- ілюстративний матеріал при читанні лекцій;
- застосування окремих методик на лабораторних та практичних заняттях;
- використання при розробці навчально-методичних видань;
- наукова робота студентів, виконання магістерських робіт.

Інформація про новітні матеріали на основі халькогенідів рідкісноземельних металів включена до лекційного матеріалу дисципліни «Хімія», яку вивчають студенти більшості інженерних спеціальностей. Тісний взаємозв'язок між науковими дослідженнями та навчальним процесом існує при викладанні загальних та фахових дисциплін для студентів напряму «Інженерне матеріалознавство». Такі дисципліни, як «Фізика та хімія твердого тіла», «Фізична хімія», «Кристалохімія, кристалографія та мінералогія», «Фізико-хімічні методи аналізу матеріалів» та ін. безпосередньо пов'язані із розглядом закономірностей отримання багатокомпонентних систем, дослідження їх властивостей та структури, прогнозування сфер можливого застосування. Кращі студенти вже із третього курсу залучаються до роботи студентського наукового гуртка, систематизують наукову літературу, проводять окремі експериментальні дослідження та розрахунки, результати яких презентують на студентських наукових конференціях університетського та всеукраїнського рівня. Наукові дослідження у рамках виконання держбюджетної теми лягають в основу майбутніх магістерських робіт.

Таким чином, поєднання наукової та викладацької діяльності сприяє наповненню навчального матеріалу реальними фактами наукових досліджень, формує дослідницьку компетентність майбутніх фахівців, зокрема, напряму «Інженерне матеріалознавство», пропагує наукову діяльність як рушійну силу науково-технічного прогресу. Використання у навчальному процесі актуальних результатів наукових досліджень робить його живим та динамічним.

#### Список посилань

1. Заблоцька О. С. Компетентнісний підхід як освітня інновація: порівняльний аналіз / О. С. Заблоцька // Вісник Житомирського держ. ун-ту. Педагогічні науки. – Вип. 40. – 2008. – С. 63–68.
2. Гулай О.І. Компетентнісний підхід у викладанні хімії у вищій школі / О.І. Гулай // Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М.П. Драгоманова. Серія 5: Педагогічні науки: реалії та перспективи. – 2012. – Вип. 31. – С. 62-71.
3. Gulay L.D. Crystal structure of  $\sim\text{RCu}_3\text{S}_3$  and  $\sim\text{RCuTe}_2$  compounds / Gulay L.D., Daszkiewicz M., Shemet V.Ya. // J. Solid State Chem. – 2012. – Vol. 186. – P. 142-148.



**ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЄВРОПЕЙСЬКОГО ДОСВІДУ В  
УКРАЇНСЬКИХ НАВЧАЛЬНИХ  
ЗАКЛАДАХ ПРИ ВИКЛАДАННІ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА****Н.Зайчук<sup>1</sup>, С.Шимчук<sup>2</sup>, Ю.Фещук<sup>3</sup>,**<sup>1, 2, 3</sup> канд.техн. наук., доцент, Луцький НТУ, Луцьк, Україна, (sotna@meta.ua)

Матеріалознавство належить до одного із найвагоміших та пріоритетних напрямів сучасної науки. Воно є широкою та перспективною галуззю, яка охоплює безліч вузькопрофільних напрямів та є найбільшою науковою ланкою яка постійно потребує вдосконалення, оновлення та розвитку. Матеріалознавство є наукою, яка вивчає будову, структуру, властивості матеріалів, шукає і обґрунтовує зв'язок між ними, досліджує залежність будови і властивостей від безлічі факторів: виробництва, обробки; впливу зовнішніх чинників, сил, навантажень; кліматичних умов; термічного впливу, експлуатаційних умов та ін.

З розвитком суспільства, науки, техніки, вдосконалення виробництва, постійного пошуку оптимальних матеріалів для різноманітних галузей виникає потреба у виготовленні та розробці матеріалів, які доповнюють або замінюють уже існуючі. Нові матеріали повинні володіти більш оптимальними властивостями – магнітними, фізичними, тепловими, електропровідними, технологічними, біологічними, екологічними та ін.

Одними із найважливіших інтеграційних показників сучасних держав у світі є науково-технічний рівень та здатність до розвитку технологій і їх впровадження. У більшості випадків виграє той, хто уміє поєднати наукові досягнення та інноваційні технології, уміє реалізовувати ресурси матеріальні, галузеві та регіональні.

У результаті вивчення та порівняння більшості наукових напрямків, можна прийти до висновку, що вивчення матеріалознавства на будь-яких напрямках та спеціалізаціях різного профілю сприяє формуванню професійно важливих якостей особистості фахівця. Під час вивчення матеріалознавства формуються інтегровані знання та уявлення, які лягають в основу професійної компетентності майбутніх фахівців. Здійснюються порівняння у різних напрямках використання, обробки. Напрацьовуються навички у правильному підході щодо вибору матеріалу у конкретному випадку.

На сьогоднішній день розвиток промисловості України та інших держав потребує саме висококваліфікованих фахівців-інженерів, здатних на обґрунтування, розробку, впровадження, обслуговування новітніх технологій. Компетентність сучасного інженера-матеріалознавця є запорукою його конкурентоспроможності, створює більш широкий простір для реалізації його наукового потенціалу. Одночасно це створює можливість до залучення найвищого наукового та технічного потенціалу.

Виходячи із Європейського досвіду з модернізації вищої інженерної освіти та можливостей застосування окремих досягнень в навчальних закладах України можна зробити ряд висновків та розробити пропозиції щодо викладання певного переліку дисциплін для спеціальності «Інженерне матеріалознавство». Участь у проекті MMATENG надає можливість ознайомитись із специфікою викладання матеріалознавчих дисциплін у провідних вузах Бельгії, Франції, Англії. Найбільшою перевагою навчальних закладів є їх автономність та здатність самостійно визначати зміст своїх освітніх програм, оцінки знань студентів і вирішувати усі питання, які пов'язані із проблемами викладання саме інженерного матеріалознавства. Це надає змогу знаходити підхід до вирішення регіональних проблем із забезпечення виробництва компетентними фахівцями.

Інтенсивний розвиток металургії, машинобудування, сільського господарства, легкої промисловості, космічної галузі, біоенергетики та інших галузей вимагає високоосвічених,

компетентних інженерів, які можуть швидко переорієнтуватися. Для покращення якості наукових студентських робіт розкриваються широкі можливості із залученням наукового досвіду закордонних вишів. Це у свою чергу покращує співпрацю між вузами та сприяє підвищенню компетенцій інженера-матеріалознавця. Великі можливості надає використання ліцензійного програмного забезпечення. Так, наприклад, програмне забезпечення CES EduPack дозволяє якісно підвищити викладання великого спектру матеріалознавчих дисциплін [1].

Матеріали даної програми охоплюють широку область матеріалів. Тим не менше, студенти та викладачі при освоєнні та викладанні різних дисципліни повинні розуміти різні промислові та виробничі аспекти.

Вивчаючи експлуатаційні властивості можна надавати перевагу міцності, корозійній стійкості, термостабільності, зношуванню, чи ін. Якщо при поясненні даного матеріалу обрати різні способи викладання, то можна знайти підхід до найрізноманітнішої аудиторії. Використовуючи можливості програмних продуктів можна зацікавити студента через проект, наукову роботу, роботу онлайн, самонавчання, і так далі. Це сприяє розвитку самостійності у виборі матеріалу в конкретному випадку, розширює кругозір, дає змогу повторити відомі факти, підкреслює індивідуальність викладача та студента у пошуку рішень [2].

Широка база даних дає можливість оцінити необхідний матеріал та порівняти його із можливими для даної галузі заміниками. У свою чергу, це сприяє студенту у виборі матеріалу за заданими властивостями або за іншими переважаючими характеристиками. Сприяє самонавчання та виробленню концепції над роботою чи лекційним матеріалом.

Враховуючи прагнення виробників здешевити продукцію та зробити її більш екологічною, доступною та менш енергоємною, перспективи використання даних програм є достатньо широкі при викладанні достатньо великого переліку дисциплін. Виходячи із навчальних планів Луцького НТУ для інженерів матеріалознавців, застосування програмного забезпечення CES EduPack може стати невід'ємною частиною курсових, науково-дослідних, розрахункових робіт, особливо у тих випадках, коли підбір матеріалу та його обґрунтування є досить важливим. У студентів виникає можливість порівняти до 50 властивостей між собою, встановити взаємозв'язок між ними, визначити доцільність їх порівняння.

Зважаючи на певний мовний бар'єр українських студентів, вони отримують можливість поповнити свій словниковий запас та розширити свій кругозір, використовуючи дане програмне забезпечення під час лекцій та поза ними. При цьому виникає можливість ознайомитись із необхідним матеріалом, методами визначення і вимірювання, походженням та характеристикою властивостей. Такі матеріали супроводжуються графіками, діаграмами та є достатньо зрозумілими.

Визначним при формуванні матеріалу лекції для викладача є підбір достовірного матеріалу, сформованого таким чином, щоб не відштовхнути студента, а зацікавити його різноманітністю та доступністю, зрозумілістю та актуальністю. Використання програмного забезпечення надає такої можливості [3]. Окрім цього інформаційні ресурси містять матеріали і бази даних, що надають вичерпну інформацію з технічних, екологічних та економічних властивостей, а це надасть підтримку рівня викладання певних курсів, модулів окремих дисциплін включно із металознавством, матеріалознавством, біоматеріалами, сплавами з функціональними властивостями, комп'ютерними технологіями матеріалознавства та ін.

Такий підхід надасть можливості покращення сприйняття матеріалу та його засвоєності студентами. Викличе зацікавлення та стимулювання до наукових розробок та пошуку найбільш прогресивних матеріалів і технологій. Призведе до постійного

стабільного розвитку фахівців інженерного профілю, підвищить їх кваліфікацію та компетентність у різних галузях виробництва.

Перелік посилань

1. Silva, A.; Ashby, M.F.; Melia, H. “The Use of CES EduPack at all levels of Higher Education” Teaching Resources Granta Design Ltd, 2012  
[[www.teachingresources.grantadesign.com/Type/Papers/PAPUHEEN12](http://www.teachingresources.grantadesign.com/Type/Papers/PAPUHEEN12)].
2. Ashby M. Materials: engineering, science, processing and design / Mike shby, Hugh Shercliff and David Cebon. - Third edition, 2014. – 440 p.
3. Ashby M. Materials Selection in Mechanical Design / Michael F. ELSEVIER, Ashby Butterworth-Heinemann, 2010 – 640 p.  
[[https://books.google.com.ua/books?id=1T1dt\\_W4aAgC&printsec=frontcover&hl=uk&source=gb\\_s\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ua/books?id=1T1dt_W4aAgC&printsec=frontcover&hl=uk&source=gb_s_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)].



**ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ВИСОКОМІДИСТИХ ЧАВУНІВ****Гусачук Д.А.<sup>1</sup>, Парфентьєва І.О.<sup>2</sup>, Мельничук М.Д.<sup>3</sup>**<sup>1</sup>канд. техн. наук, доцент Луцького НТУ, Луцьк, Україна (gda2002@yandex.ua)<sup>2</sup>канд. техн. наук, доцент Луцького НТУ, Луцьк, Україна (innalutsk@yandex.ua)<sup>3</sup>канд. техн. наук, доцент Луцького НТУ, Луцьк, Україна (melnychuk80@gmail.com)

В сучасному матеріалознавстві чавунів актуальним напрямком є створення на їх основі литих композитних матеріалів (ЛКМ). Причому перспективними являються дослідження з формування гетерогенних структур сплавів ендегенного походження [1].

Відомо, що легування чавунів міддю, викликає появу вільних включень високомідиної  $\epsilon$ -фази [2], приводячи до неоднорідності структури, з чим пов'язують погіршення властивостей виробів. Проте, для складних систем, до яких відносять чавуни, підвищення ступеня гетерогенності є доцільним, з огляду на їх триботехнічне призначення. Отримання виливків мікро- та макрогетерогенного структурного стану слід пов'язати з можливим покращенням їх триботехнічних характеристик.

У дослідженнях проводили вивчення структури високомідицих чавунів як в розплавах, так і у виливках. Додавання міді в розплави виконували в кількостях, що значно перевищують межі її розчинності в розчинах заліза (понад 4,0 %).

Структурно-гартувальним методом встановлено, що розплави у вибраному інтервалі концентрації міді (6...12 %) являють собою емульсію. І в даному випадку дисперсійним середовищем є рідкий розчин Fe-C-Si, а диспергованою фазою виступають краплі рідкої міді. Основною причиною існування емульсійного стану розплавів досліджуваних чавунів є явище незмішуваності [3], яке за проведеними розрахунками спостерігається в широких межах концентрацій міді та температур:

$$U_{FeCu} > \frac{kT}{2} \left( \frac{1}{\mu_{Cu}} + \frac{1}{1 - \mu_C - \mu_{Cu}} \right)$$

або

$$U_{FeC} > \frac{kT}{2} \left( \frac{1}{\mu_C} + \frac{1}{1 - \mu_C - \mu_{Cu}} \right).$$

$U_{FeCu}$  та  $U_{FeC}$  – потенційні енергії змішування атомів заліза і міді та заліза і вуглецю, відповідно;

$k$  – стала Больцмана;

$T$  – температура;

$\mu_C$  – концентрація в розплаві вуглецю ( $\mu_C=1$  відповідає 100 % C);

$\mu_{Cu}$  – концентрація міді.

Підвищення концентрації міді викликає збільшення числа крапель емульсії в загартованих з рідкого стану пробах чавуну. Встановлено, що сплави з вмістом міді до 8 % мас. характеризуються, практично, монодисперсністю емульсійного стану їх розплавів. Наступні порції міді викликають розвиток процесів коагуляції та явища полідисперсності емульсійного стану розплавів.

Емульсійний стан розплавів сприяє підвищенню мікрогетерогенності чавунів на всіх стадіях процесу їх кристалізації та суттєво впливати на її механізм, особливо в межах евтектичного перетворення. Зокрема, в графітованих чавунах, з високим вуглецевим еквівалентом (>3,0 % Si), відомий механізм формування графітної евтектики, може послаблюватись. Причиною цього є часткове зникнення графітної підкладки, шляхом

захоплення її краплями міді. В таких випадках результатом кристалізації Fe-C розплаву є формування ледебуриту з відбілюванням структури виливків (рис. 1).

Особливу увагу морфології сплавів привертає факт утворення оболонки на основі високомідиної  $\epsilon$ -фази навколо кристалітів графіту (див. рис. 1, а). Дослідження цієї складової частини ЛКМ показують, що оболонка є продуктом перитектичної реакції. За відомими даними [4] в чавунах близьких до евтектичного складу навколо графітних кристалітів формується оболонка аустеніту, яка в ході перитектичної реакції реагує з розчином насиченим міддю. При цьому  $\epsilon$ -фаза насичується залізом (Fe до 4,5 %), що підтверджується даними мікрорентгеноаналізу (табл. 1).

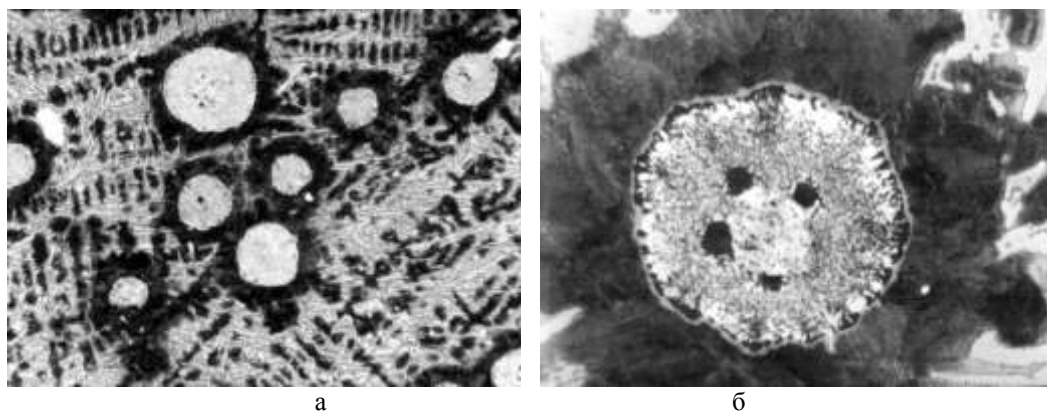


Рис. 1. Лита структура високомідиного чавуну (8...10 % Cu):  
а – загальний вигляд,  $\times 100$ ; б – сферійне включення  $\Gamma+\epsilon$ ,  $\times 500$ .

Таблиця 1. Вміст елементів в структурі ЛКМ

Назва елемент у	Вміст елементів за фазами, % мас.		
	оболонка $\epsilon$ -фази (сферійди $\Gamma+\epsilon$ )	$\epsilon$ -фаза у вигляді крапель	металева матриця
Fe	4,475	1,598	89,318
Cu	94,633	94,347	7,825
Si	0,462	0,180	1,478
Mn	0,162	0,668	0,460
S	-	2,344	0,001
P	0,101	0,100	0,015

Розрахунки, а також металографічні дослідження показують, що товщина оболонки  $\epsilon$ -фази перебуває в певній залежності від розміру оболонки аустеніту навколо кристалітів графіту. Ріст оболонки підпорядковується добре відомому правилу [5], коли  $R_A/R_{Гр}=2,4$  ( $R_A$  – радіус оболонки аустеніту,  $R_{Гр}$  – радіус графітної кулі). Це підтверджено численними дослідженнями співвідношення між радіусами  $\epsilon$ -фази і графіту в досліджуваних чавунах.

При кристалізації навколо оболонки аустеніту, що охоплює графіт, підтримується постійний градієнт концентрацій по міді та вуглецю. Внаслідок різкого зменшення розчинності атомів вуглецю в аустеніті під впливом міді при перитектичній реакції створюються умови для рівномірного виділення дрібнодисперсних включень графіту

в  $\epsilon$ -фазі. Таким чином, навколо первинних кристалітів графіту кулястої форми утворюється потовщена оболонка, що складається із суміші фаз:  $\Gamma+\epsilon$ . Основу такої оболонки, що визначає більшість властивостей останньої, складає високомідиста  $\epsilon$ -фаза. Кількісним металографічним аналізом встановлено, що за об'ємом кількість високомідистої  $\epsilon$ -фази, яка витрачається на утворення оболонки навколо первинних кристалітів графіту, значно більше тої її кількості, яка іде на утворення інших морфологічних типів високомідистої фази високомідистих чавунів.

Проведені дослідження дозволяють розкрити особливості формування литої структури високомідистих чавунів, як нового класу ЛКМ ендегенного походження. Першою умовою є наявність флуктуацій в рідкому розплаві  $\text{Cu}$ -чавунів, які пов'язані із збагаченням деяких об'ємів  $\text{Fe-C}$  рідини міддю. Розвиток такої флуктуаційної ситуації приводить до переходу металевої системи в нерівноважний стан і подальшого локального мікророзшарування, тобто до утворення емульсії. Це обумовлює появу крапель мідистої рідини в розплаві розроблених ЛКМ з вмістом міді понад 6 % мас. Велику роль, при цьому, грають кінетичні умови кристалізації, що у свою чергу впливає на можливі розміри крапель і кінцеві результати диференціювання металевої системи. Зокрема при отриманні виливків використовували технологічні прийоми термочасової обробки розплавів.

Стійкість емульсійного стану і уникнення можливих причин ліквідації та седиментації міді  $\epsilon$ , також, наслідком ефекту борботації розплаву при модифікуванні магнієвими лігуатурами, а також виплавка ЛКМ в індукційних печах, де забезпечується інтенсивне перемішування.

Таким чином, емульсійний стан розплавів високомідистих чавунів сприяє формуванню у виливках особливої структурної складової – сфероїдів  $\Gamma+\epsilon$ . Ці включення формуються при первинній кристалізації розплавів, шляхом захоплення графітних включень чи аустенітографітних колоній в чавунах доевтектичного чи евтектичного складу. Для останніх цей процес супроводжує чітко виражена перитектична реакція. Такий механізм дозволяє отримати порівняно рівномірне розподілення сфероїдів  $\Gamma+\epsilon$  у виливках високомідистих чавунів, що є технологічною перевагою розроблених сплавів, в порівнянні з композитами екзогенного походження.

Високий ступінь як мікро- так і макрогетерогенності структури високомідистих чавунів дозволяє застосовувати їх в умовах тертя ковзання у вузлах з обмеженими можливостями щодо змащення деталей. Теоретичні та прикладні аспекти синтезу високомідистих чавунів були використані при викладанні спецкурсів для студентів магістрів спеціальності прикладне матеріалознавство. Зокрема, студентам детально представлені явища та процеси самоорганізації складних металевих систем на прикладі структуроутворення та еволюції структури високомідистих чавунів, при вивченні дисципліни "Нерівноважна термодинаміка і синергетика матеріалознавства" у Луцькому НТУ.

#### Перелік посилань

1. Найдек В.Л. Композиционные материалы – тенденции, проблемы и перспективы развития // В.Л. Найдек, С.С. Затуловский // Процессы литья. – 2004. – №4. – С.3-10.
2. Сильман Г.И., Тейх В.А., Сосновская Г.С. Медь в отливках из чугуна с пластинчатым и шаровидным графитом// Литейн. пр-во.– 1975.– №10.– С.8–9.
3. Христенко В.В., Кириевский Б.Л. Расчёт параметров уравнений равновесия между жидкими фазами в системах с областью несмешиваемости в жидком состоянии / В.В.Христенко, Б.Л.Кириевский // Процессы литья.– 1999.– № 4.– С. 3–11.
4. Бобро Ю.Г., Гусачук Д.А., Дмитриюк Н.В. Износостойкость бейнитных среднеуглеродистых чугунов с компактным графитом// Трение и износ.– 1998.– т. 19, №3.– С.386–390.

5. Справочник по чугунному литью / Под ред. Н.Г.Гиршовича.– Л.: Машиностроение, 1978.– 758 с.

**ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ НАВЧАЛЬНИХ ПЛАНІВ В КОНТЕКСТІ****РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТУ «ММАТЕНГ»****Кашицький В.П.<sup>1</sup>, Заболотний О.В.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>канд. техн. наук, доцент Луцького НТУ, Луцьк, Україна (kashickij@yandex.ru)<sup>2</sup>канд. техн. наук, доцент Луцького НТУ, Луцьк, Україна (volynasi@gmail.com)

Згідно із статтями Закону України «Про вищу освіту», Наказу Міністерства освіти та науки України від 25.01.2015 р. [1, 2], Положення про організацію освітнього процесу в Луцькому НТУ, Наказу про підготовку до 2015/2016 навчального року в Луцькому НТУ формування нових навчальних планів відбувається з деякими особливостями порівняно з попередніми роками. Це стосується обмеження кількості дисциплін в семестрі та фіксованою нижньою межею кількості кредитів на окрему дисципліну. В основному це призводить до збільшення обсягу аудиторних годин на дисципліни, які були передбачені на два семестри та скорочення дисциплін з гуманітарного циклу.

Важливим моментом при формування навчальних планів є поява групи дисциплін вільного вибору студентом, що було зроблено з врахуванням європейського досвіду. Дана група включає в себе широкий перелік дисциплін вузькоспеціалізованого напрямку, як мінімум за двома блоками. Недоліками даної підходу є по-перше одночасний вибір всіх дисциплін блоку, і по-друге вибір блоку групою у кількості не меншій 20 студентів, що відповідно не враховує індивідуальний підхід.

В результаті аналізу дисциплін, що викладаються в провідних університетах європейського простору та України встановлено, що існують відмінності як у назвах дисциплін так і у їх кількості. Враховуючи спорідненість дисциплін проведено класифікацію (рис. 1), яка вказує на особливості відображення вузькоспеціалізованого змісту дисциплін європейського зразка та розширене представлення подібних за змістом дисциплін в українському варіанті. При формуванні нових навчальних планів необхідно врахувати досвід складання навчальних планів в європейській вищій школі, що вказує на значну меншу кількість дисциплін в навчальних планах європейського зразка.

В рамках реалізації проекту «ММАТЕНГ» необхідно визначитись із дисциплінами європейської вищої школи, які мають базовий зміст або мають стратегічне значення, щоб їх зберегти або внести в нові навчальні плани підготовки фахівців в українських вузах. При цьому деякі дисципліни не потребують детального вивчення в Луцькому НТУ (металургія, технології та застосування надпровідних матеріалів, використання легких матеріалів для автотранспорту), тому не має потреби виділяти їх в окрему дисципліну, а забезпечити викладання як окремих змістових модулів в межах існуючих дисциплін.

Зокрема, досить цікавим є наявність вузькоспеціалізованих дисциплін («Композити з поновлювальних джерел»), які створюють перспективу розвитку виготовлення нових екологічно безпечних матеріалів.

Група дисциплін («Управління проектами», «Управління кар'єрою» та «Ефективна комунікація з групами») є не менш важливою в подальшій трудовій діяльності випускника та допоможе йому орієнтуватися на ринку праці.

В результаті, необхідно відмітити позитивний момент у наданні вузам більшої самостійності у складанні навчальних планів, зокрема у частині формування блоку дисциплін вільного вибору студентом, що дозволяє готувати фахівців вузького профілю за спеціальністю для окремого регіону.

Підвищити можливості працевлаштуватися випускнику на підприємствах регіону можливо за рахунок розширення діапазону дисциплін підготовки студентів у рамках більш

International Scientific-Methodological Conference «How to teach material sciences:  
new approaches and experiences from the MMATENG project»

вузької спеціалізації за рахунок збільшення кількості нових дисциплін в блоках вільного вибору студента. Це стосується як окремих спеціальних технологій виготовлення виробів, так і систем автоматизації проєктів, документообігу, програмування режимів роботи обладнання.

Кваліфікаційний рівень /ступінь освітлення	Дисципліни у навчальному плані	Рекомендовані дисципліни та проєкти	Кваліфікаційний рівень /ступінь освітлення	Дисципліни у навчальному плані	Рекомендовані дисципліни та проєкти
Бакалавр /здобувач вищої освіти	Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів Металознавство Матеріалознавство	Основні матеріалознавства металургічного проєкту	Бакалавр /здобувач вищої освіти	Безпека та ефективність матеріалів та виробів	Дефекти та надійність матеріалів
Магістр /здобувач вищої освіти	Класифікація спеціальних функціональних матеріалів Використання комп'ютерних технологій в матеріалознавстві	Вибір матеріалів (-) використання СЕВ-програмування забезпечення	Бакалавр /здобувач вищої освіти	Корозія і захист металів Основні технології матеріалів	Механізм, корозія і обробка металів
Бакалавр /здобувач вищої освіти	Кількісні матеріали Матеріалознавство і ТМ	Використання легких матеріалів для авто-транспортів	Бакалавр /здобувач вищої освіти	Вибір матеріалів та композитів Безпечні матеріали	Полімерні композити або матеріали з розширеними властивостями
Бакалавр /здобувач вищої освіти	Використання комп'ютерних технологій в матеріалознавстві Основні інженерні проєктування	CAD-CAM - CAE Systems NX	Магістр /здобувач вищої освіти	Лазерні матеріали та технології	Технології лазерної обробки матеріалів
Бакалавр /здобувач вищої освіти	Фізика та хімія твердого тіла Кристаліграфія, кристалознавство	Технології та застосування надпровідних матеріалів	Бакалавр /здобувач вищої освіти	Ефективні технології обробки та надійності виробів	Ефективна конструкція з оптимізацією процесу, методи представлення
Бакалавр /здобувач вищої освіти	Методи структурного аналізу матеріалів	Методи структурного дослідження	Магістр /здобувач вищої освіти	Технології устаткування проєктування та безпеки	Устаткування конструювання на рівні проєкту (управління квалітетом)
Бакалавр /здобувач вищої освіти	Методи структурного аналізу матеріалів	Методи структурного дослідження	Магістр /здобувач вищої освіти	Економіка і організація виробництва Основні інженерні проєктування	Управління процесами (бізнес-планування, фінансування, маркетинг)

Рис. 1 Порівняльна оцінка навчальних дисциплін, впровадження яких відбувається згідно реалізації проєкту «ММАТЕНГ» для освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр за напрямком підготовки «Інженерне матеріалознавство» та магістр за спеціальністю «Прикладне матеріалознавство»

Для ефективною реалізації співпраці між підприємствами окремого регіону та університетом необхідно налагодити міцні зв'язки, які б дозволяли постійно оновлювати програму викладання, а при необхідності впроваджувати нові дисципліни, якщо навчальних обсяг не дозволяє підготувати фахівця в існуючих часових межах даної дисципліни. Даний підхід є більш досконалим, оскільки підвищує гнучкість модернізації навчальних планів. Оновлення навчальних планів є необхідною вимогою, оскільки більшість дисциплін були впроваджені централізовано, містять класичний підхід та відомості в представленні технологій та матеріалів та не враховують специфіку економічного розвитку регіону. Крім того введення нових дисциплін було проблематичним і виконувалось на рівні погодження з Департаментом вищої освіти МОН України, Інститутом інноваційних технологій та змісту освіти й Науково-методичною комісією з напрямку підготовки. Відповідно зміни в навчальних планах були майже неможливими, оскільки погодження потребувало значних затрат часу.

В процесі реалізації проєкту «ММАТЕНГ» необхідно було встановити об'єм знань, вмінь та навичок, якими повинен володіти випускник спеціальності «Прикладне матеріалознавство». З даною метою було складено анкету та проведено опитування провідних спеціалістів ведучих підприємств регіону. Метою анкетування було встановити,

які компетенції є важливими для інженера-матеріалознавця та які курси або теми необхідно додати до програми навчання фахівців за напрямом інженерне матеріалознавство, щоб вони відповідали вимогам даного підприємства. Ряд запитань також було поставлено для визначення рівня підготовки фахівців та налагодження ефективної співпраці між підприємством та університетом.

В основному підготовка спеціалістів в українських вузах здійснюється за програмою широкої спеціалізації, що визначається наявністю великої різнопланової кількості дисциплін за напрямом підготовки матеріалознавство та надає випускнику більше шансів знайти місце працевлаштування при роботі з різними класами матеріалів, але разом з тим втрачається можливість бути спеціалістом в окремій галузі. На жаль, це диктується вимогами економіки та недостатнім розвитком масового виробництва в окремо взятому регіоні.

В основному підприємства шукають спеціалістів з досвідом роботи, але не докладають зусиль у напрямку співпраці з університетами, завдання яких полягає у підготовці даних спеціалістів. Даний розрив приносить шкоду як підприємствам так і університетам. Відповідно підприємства не мають спеціалістів, а університети необхідної кількості абітурієнтів, оскільки по закінченню випускнику складно працевлаштуватись.

#### Перелік посилань

1. Закон України «Про вищу освіту».
2. Наказ Міністерства освіти та науки України №47 від 25.01.2015 р.



## РОЗРОБКА НАВЧАЛЬНИХ ПРОГРАМ З МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА НА ОСНОВІ КОМПЕТЕНТНІСНОГО ПІДХОДУ

Мельничук М.Д.<sup>1</sup>, Савчук П.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>канд. техн. наук, доцент Луцького НТУ, Луцьк, Україна (melnuchyk80@gmail.com)

<sup>2</sup>докт. техн. наук, проф. Луцького НТУ, Луцьк, Україна (savchuk71@gmail.com)

Реалізація проекту MMateng сприяє формуванню стратегічних цілей та впровадженню тактичних кроків спрямованих на модернізацію навчального процесу у Луцькому НТУ на основі вивченого досвіду сучасних світових тенденцій у Вищій інженерній освіті. Команда проекту у ЛНТУ розглянула та детально проаналізувала усі аспекти запровадження компетентнісного підходу до побудови та реалізації освітніх програм, методи інструменти, які для цього використовуються в університетах ЄС.

Низка взаємопов'язаних проблем, таких як низький рівень працевлаштування випускників-інженерів, непопулярність серед молоді інженерних спеціальностей, невідповідність отриманих знань та навичок вимогам сучасного ринку праці, слабка співпраця між вищими навчальними закладами та підприємствами, відсутність сучасної навчальної технічно-матеріальної бази в ВНЗ призводить до формування недостатнього рівня компетентності серед випускників інженерних спеціальностей у тому числі й матеріалознавства. Одним із заходів, який дозволяє в певній мірі вирішити комплексну проблему, є модернізація навчальних планів та розробка нових навчальних дисциплін, курсів, модулів, орієнтованих на задоволення сучасних потреб як вітчизняного ринку праці інженерів, так і світового.

Партнерство у консорціумі проекту «MMateng», дозволило вивчити підходи з розробки навчальних дисциплін та модулів за принципом світової ініціативи CDIO, які дають можливість знайти невідповідність між науковими та практичними інженерними потребами та відшукати можливість реформувати інженерну освіту; створити перелік можливостей, якими підприємства бажають, щоб володіли їх інженери. Застосовуючи ідеї CDIO до розробки нових модулів та дисциплін кожний етап має свій зміст. Зокрема, на етапі «ідея» визначають важливі компетенції, що користуються попитом зі сторони працедавців. На етапі «розробка» розробляються курси, які забезпечують формування у студентів необхідних компетентностей. Етап «впровадження» означає розробку змістової частини дисципліни чи модуля та його методичного забезпечення, а також проходження прийнятої в закладі процедури затвердження. Етап «експлуатації» передбачає забезпечення якісного навчального процесу з розвитку визначеного набору компетентностей у студентів.

В CDIO ініціативах прийнято велику увагу приділяти студентським проектам, що можуть проходити у формі стажування на підприємствах. Активне навчання груп може проходити як в аудиторіях, так і на сучасних навчальних семінарах, в лабораторіях. Характерними компонентами є сувора атестація та процес оцінювання.

Ключове значення для забезпечення необхідної якості освітньої програми нового покоління має залучення до процесу зацікавлених осіб з неакадемічної спільноти: роботодавців, представників професійних товариств, представників місцевої влади, громадських організацій. В основі студентоцентрованого навчання покладено ідею максимального забезпечення студентам їх шансів отримати перше місце на ринку праці, підвищення їхньої "вартості" у працедавців, задоволення тим самим актуальних потреб останніх.

В умовах надзвичайно динамічного ринку праці, викликаного технологічним вибухом у кінці минулого століття, співпраця освітян та працедавців набуває особливої важливості. У сучасних умовах звичайний підхід до аналізу тенденцій та ризиків стає малоефективним,

а його результати мають короткотерміновий характер. Гострими стають проблеми вибору: стабільність чи ефективність, спеціальні знання чи широкі навички. Практично не можливо передбачити, навіть у середньотерміновій перспективі, майбутні вимоги до кваліфікації інженера. Трапляються випадки коли життєвий цикл спеціальності стає коротшим від часу необхідного для вивчення її в університеті.

Відповідно до інформації отриманої від представників підприємств сьогоднішній ринок праці можна охарактеризувати наступним чином:

все менше стає місць праці, які можна займати протягом цілого життя; зростає відсоток тимчасових посад, робіт у рамках окресленої тривалості проектів тощо;

знижується ступінь захищеності займаного місця праці, наслідком чого стає не тільки зміна місця праці, але й пошуки його на «чужих територіях», поза основною кваліфікацією;

постійні зміни середовища праці приводять до швидкого старіння наявних у працівника умінь та навичок праці.

У рамках реалізації проекту «ММатенг», ми провели дослідження для визначення загальних та фахових компетентностей студентів бакалаврів з інженерного матеріалознавства. Дослідження полягало у опитуванні представників підприємств (працівник управління персоналом, головний інженер, технічний директор та інші), а також випускників, що закінчили бакалаврат за напрямом «Інженерне матеріалознавство» та працюють на інженерних посадах. Для опитування командою викладачів були розроблені анкети у яких сформулювали 23 загальних і та 12 фахових компетентностей, які потрібно було оцінити за важливістю для фахівців матеріалознавців. Загалом було опитано 57 респондентів з 12 великих та середніх підприємств регіону. До того ж було передбачено поле для доповнення переліку фахових компетентностей респондентом.

Опитування проведені серед представників промисловості та бізнесу, показали, що шанси отримати робоче місце залежать від:

- уміння виконувати конкретні фахові завдання; знання спеціалізованих комп'ютерних програм; навичок вибору матеріалів, беручи до уваги їхні механічні, технологічні, експлуатаційні властивості та прогнозування ризиків пов'язаних з їх використанням; навичок оцінювання, інтерпретації та синтезу інформації та даних; уміння складати карти технологічних процесів – **84%**
- навичок, що характеризують рівень самоорганізації та здатності до самонавчання, здатність до роботи в групі, уміння спілкуватися іноземною мовою, уміння розробляти та керувати проектами, знання підходів сталого розвитку) - **78%**;
- позитивне ставлення до роботи - **64%**;
- відповідний практичний досвід (виробнича практика) - **60%**;
- напряму здобутої освіти та кваліфікації - **41%**;
- престижності закінченого навчального закладу - **12%**

Результати проведеного дослідження враховано під час розробки нової освітньої програми з «Матеріалознавства» у відповідності до світових підходів та вимог Міністерства освіти України.

Перелік посилань:

1. Рашкевич Ю.М. Болонський процес та нова парадигма вищої освіти: монографія/ Львів: Видавництво львівської політехніки, 2014. – 168 с.
2. Сучасні тенденції у вищій інженерній освіті: європейський досвід та рекомендації для України: монографія// В.І. Шагоха, В. Кордас, А.Петренко, Е. МакКей та інші. – Дніпропетровськ: «Дріант». – 116 с.

**ОЦІНКА ВЕЛИЧИНИ ДЕФОРМАЦІЇ НЕЖОРСТКОЇ ЛИСТОВОЇ ЗАГОТОВКИ ПРИ  
КОНСОЛЬНОМУ МАНІПУЛЮВАННІ НА ГІДРОРІЗНИХ ВЕРСТАТАХ****Орел В. М.<sup>1</sup>, Ченчева О. О.<sup>1</sup>, Щетинін В.Т.<sup>2</sup>, Саленко О.Ф.<sup>3</sup>**<sup>1</sup>аспіранти кафедри ПОМФТО Кременчуцького національного університету ім.М.Остроградського,  
Кременчук, Україна<sup>2</sup>канд.техн.наук, доцент КрНУ ім.. М.Остроградського<sup>3</sup>д.т.н., проф., зав.кафедрою ПОМФТО КрНУ ім.. М.Остроградського (Salenko2006@ukr.net)

Гідрорізні верстати традиційного компонування, які являють собою порталні системи із розташованими ваннами-робочими столами, нині мають найбільше представлення на ринку обладнання. Однак перспективними із точки зору забезпечення стабільності обробки та широкого діапазону оброблюваних заготовок є машини іншого типу – з відокремленим приводом подачі та з приймальним соплом замість ванни (рис. 1). Подібні компонування досить активно просуває на ринку фірма Trumpf, однак система позиціонування заготовки в таких машинах залишається найбільш простою, оскільки не передбачає переміщення заготовки за контуром.

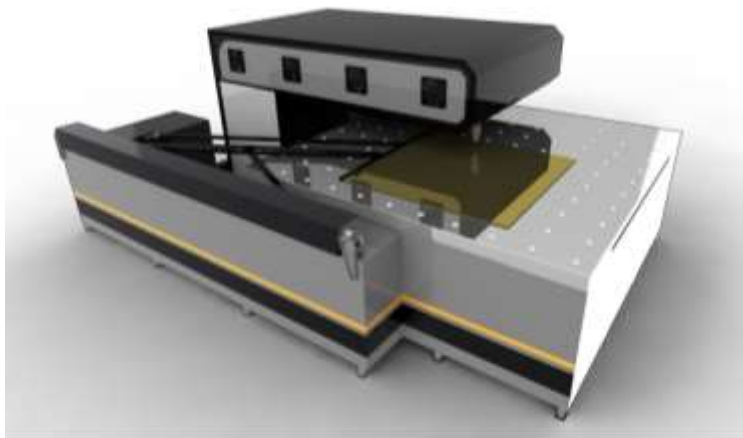


Рис. 1 – Верстат для гідрорізання із відокремленим приводом подачі та важливою орієнтувальною системою

Пропонується у якості приводу подачі використовувати важільний лямбда-механізм, конструктивно виконаний окремо і встановлений на такій відстані від самого верстат, на якій забезпечується потрібна робоча зона для використовуваної листової заготовки. Однак проблемою залишається визначення розмірів стола-підтримувача, який забезпечуватиме передування виникненню пружних або незворотніх деформацій внаслідок втрати сталості заготовки.

З цієї метою розглядали умови розташування заготовки на столі верстата. Нехай маса заготовки зосереджена у точці С, тоді сила інерції прикладена саме до цієї точки. Рівняння рівноваги заготовки при зрушенні та відсутності сил корисного опору (сил різання) запишеться так як  $F_r = ma + F_r$ , де прискорення  $a$  визначатиметься умовами розгону

заготовки  $a = \frac{\Delta v_i}{t}$ , а сила тертя  $F_t = \mu mg$  за умови, що заготовка розташована горизонтально. Отже:

$$F_r = m \left( \frac{\Delta v}{t} + \mu_c g \right),$$

$\mu_c$  – сила тертя спокою.

З іншого боку, перевищення сили критичного значення призведе до можливої втрати стійкості заготовки, і, відтоді, до виникнення деформації у напрямку  $Y$  (рух у напрямку  $-Y$  обмежений площею робочого столу).

За формулою Ейлера для випадку жорсткого консольного закріплення критична сила становить:

$$F_k = \frac{\pi^2 EJ_{\min}}{4L^2},$$

де  $L$  – відстань до точки виникнення сили тертя на опорі стола;  $J_{\min}$  – мінімальний момент інерції, для даного випадку  $J_x$ . Після перетворень маємо:

$$[a] \leq \frac{\pi^2 EJ_x}{4L^2 m} - \mu_c g$$

тобто допустиме прискорення руху заготовки буде тим меншим, чим більша маса заготовки, менший її момент інерції  $J_x$ , більша довжина відстані, на якій виникає сила тертя спокою.

Врахування сили корисного опору (сили різання) ще більше зменшить допустиме прискорення при переміщенні заготовки:  $[a] \leq \frac{\pi^2 EJ_x}{4L^2 m} - \mu_c g - \frac{P_y}{m}$  за умови, що виникнення сил тертя відбувається у тій же точці, що і прикладання сил корисного опору.

При зрушення заготовки з місця сила тертя одразу ж падає, відтоді, змінюється і сила опору руху,  $\Delta F = (\mu_c - \mu)gm$ , причому така зміна сили не залежить від того, знаходиться заготовка у стані сталості чи вже втратила такий стан (тобто у випадку, коли  $F_r > F_k$ ).

Врахуємо зміну положення характерної точки заготовки при її деформуванні у випадку, коли рушійна сила перевищить допустиму критичну. Скористаємося [14] та вважатимемо, що має місце тільки одна форма коливач, коли заготовка вигинається догори (рис. 2).

Якщо нехтувати деформацією стиснення заготовки уздовж її центральної вісі та уявити, що елемент заготовки  $ds$  проєктується на ось  $z$  як  $dz$ , отримаємо величину  $\Delta$ :

$$\Delta = \int_0^l (ds - dz) = l \int_0^l \left( \sqrt{1 + \left( \frac{dv}{dz} \right)^2} dz - dz \right) = \frac{1}{2} \int_0^l \left( \frac{dv}{dz} \right)^2 dz,$$

за умови, що крайове зусилля на кінці заготовки  $v(l - \Delta) = 0$ .

Кривизна заготовки визначиться

$$EJ_x \frac{\frac{d^2v}{dz^2}}{\left[1 + \left(\frac{dv}{dz}\right)^2\right]^{3/2}} + Nv(z) = 0$$

Звідси величина максимального прогину  $v_{\max}$  становитиме:

$$v_{\max} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} L \sqrt{1 - \frac{F_k}{F_r}} \text{ за умови, що } F_r > F_k.$$

Для перерізуючої сили  $P$  диференціальне рівняння набуде вигляду:

$$\frac{d}{dz} \left( EJ_x \frac{d^2v}{dz^2} \right) = -P - F_r \frac{dv}{dz}; \quad P = -\frac{d}{dz} \left( EJ_x \frac{d^2v}{dz^2} + F_r v \right)$$

Отже, визначення за останнім рівнянням величини зміни сили опору при русі заготовки дає змогу розрахувати як величину прогину  $v_{\max}$ , так і величину перерізуючої сили  $P$ .

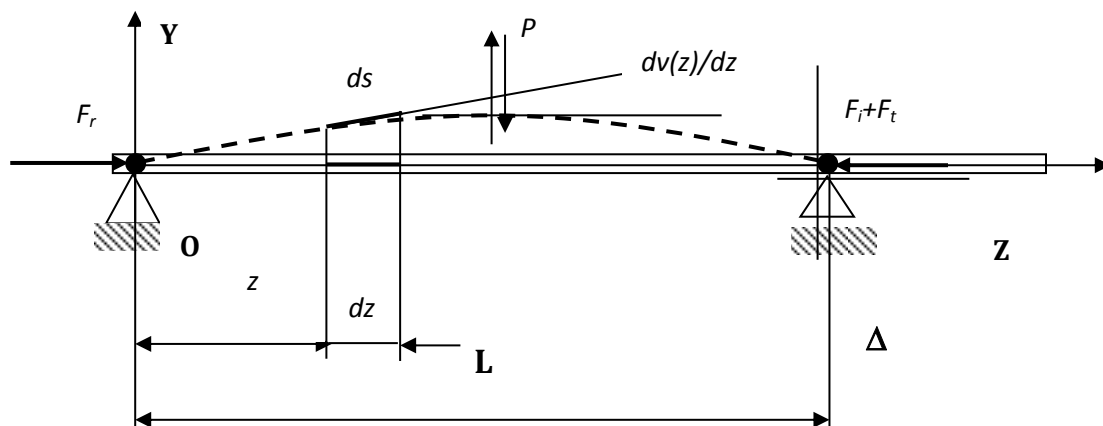


Рис. 2. До розрахунку кривизни та випучувань заготовки при русі на холостому ході

Періодична зміна перерізуючої сили  $P$  за певних умов може порушити сталість динамічної системи та викликати вібрації при русі заготовки, які ускладнюють процес моніторингу.

Під дією збурень від сили тертя та несталої рушійної сили кожна точка заготовки здійснюватиме поперечні коливання, які визначаються координатою  $z$  та часом  $t$ .

Диференціальне рівняння поперечних коливань заготовки у вигляді стрижня з розподіленою масою, розміщеного на опорах, без урахування втрат енергії має вигляд:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + a^2 \cdot \frac{\partial^4 y}{\partial z^4} = 0,$$

де  $y$  – поперечне переміщення перерізу заготовки, що знаходиться на відстані  $z$  від початку координат,  $t$  – час,  $a$  – постійна величина, яка залежить від масових та жорсткісних параметрів заготовки і для стрижня визначається його параметрами:  $a^2 = \frac{EJ}{\rho F}$ ,  $E$  – модуль пружності матеріалу;  $J$  – момент інерції перетину заготовки;  $\rho$  – густина матеріалу;  $F$  – площа поперечного перерізу.

Розв'язок останнього рівняння подається у виді тригонометричного ряду:

$$Y(z, t) = \sum_{i=1}^{\infty} Y_i(z) \cdot [A_i \cos(p_i t) + B_i \sin(p_i t)],$$

$Y_i(z)$  - нормальна функція, що визначає  $i$ -ту нормальну форму коливань;  $p_i$  –  $i$ -та частота коливань;  $A_i, B_i$  – постійні інтегрування, які залежать від умов опирання стрижня та збурюючі сил.

Для розглянутого випадку рішення рівняння  $\frac{d^4 Y_i(z)}{dx^4} - \lambda_i^4 Y_i(z) = 0$  становитиме:

$$Y_i(z) = c_{1i} \cdot [\cos(\lambda_i z) + ch(\lambda_i z)] + c_{2i} \cdot [\cos(\lambda_i z) - ch(\lambda_i z)] + c_{3i} \cdot [\sin(\lambda_i z) + sh(\lambda_i z)] + c_{4i} \cdot [\sin(\lambda_i z) - sh(\lambda_i z)]$$

Для шарнірно-опертого елемента рівняння має такий розв'язок:

$$y(z, t) = \sum_{i=1}^{\infty} D_i \cdot \sin\left(\frac{i\pi z}{L}\right) \cdot \sin(p_i t)$$

Якщо навантаження раптово змінюється, маємо рівняння для визначення власних коливань заготовки:

$$y(z, t) = \frac{2P_0 L^3}{\pi^4 EJ} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{i^4} \cdot \sin\left(\frac{i\pi z}{L}\right) \cdot \sin\left(\frac{i\pi z_1}{L}\right) \cos(p_i t),$$

а частоти коливань  $p_i$  становлять:

$$p_i = \frac{\left(i + \frac{1}{2}\right)^2 \pi^2}{L^2} \sqrt{\frac{EJ}{\rho F}}.$$

В результаті розрахунків встановлено, що для листів нежорстких заготовок товщиною меншою за 2,5 мм при розмірах 1250x2500 мм кількість хвиль прогину становить 2-3. Тобто із певним рівнем припущення саму заготовку при визначенні сталості процесу

обробки можна уявити у вигляді двох- або трьохмасової системи. Насправді, втрата стійкості та виникнення прогину, за якого опір стиснення різко падає, призводить до того, що переміщення частин заготовки до виникнення прогину і за ним відбувається за власним законом, і, відповідно, переміщення задане не співпадає із переміщенням фактичним.

Таким чином, нелінійність сил опору при русі заготовки призводить не тільки до виникнення похибок відтворення контуру внаслідок виникнення деформацій заготовки, а і до виникнення періодичних коливань з амплітудами (рис.3) що можуть сягати кілька мм, які ведуть до погіршення якості обробки і утворення хвилястості на торцях.

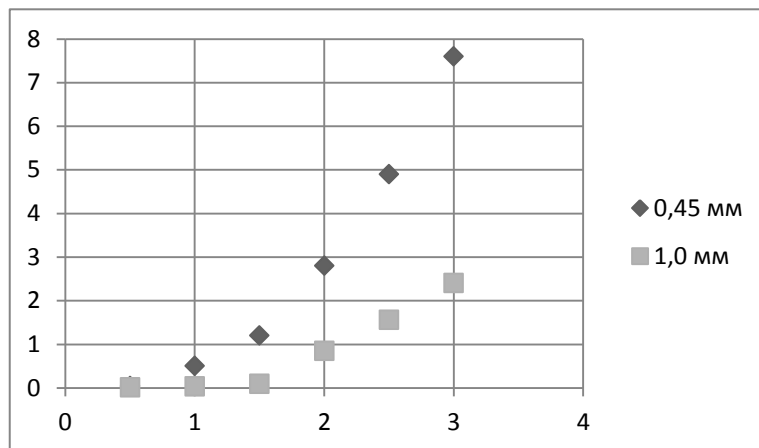


Рис. 3. Очікуваний прогин заготовок товщиною 0,45 мм та 1,0 мм при їх переміщенні констольно розташованим кріпильним елементом

Отже, з метою підвищення сталості доцільне виконання пневматичного розвантаження від ваги заготовки, яке має виконуватися у разі, коли максимальний розмір при зрушенні викличе відповідне стрімке зростання прогину.



**ПРО ПЕРСПЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОАБРАЗИВНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ  
ПЕРФОРУВАННЯ СТІЛЬНИКІВ ТУРБОАГРЕГАТІВ****Коваленко С.В.<sup>1</sup>, Павлюченко Ю.А.<sup>1</sup>, Мана О.М.<sup>2</sup>, Саленко О.Ф.<sup>3</sup>**<sup>1</sup>аспіранти кафедри ПОМФТО Кременчуцького національного університету ім.М.Остроградського<sup>2</sup>канд.техн.наук,доцент КрНУ ім.. М.Остроградського<sup>3</sup>д.т.н., проф...,зав.кафедрою ПОМФТО КрНУ ім.. М.Остроградського (Salenko2006@ukr.net)

Розвиток конкурентоспроможної продукції машинобудування, авіаційної та космічної галузей нерозривно пов'язаний із розширенням впровадження особливого класу матеріалів – конструкційних композитів, що володіють підвищеними, функціонально орієнтованими фізико-механічними, теплофізичними, діелектричними та іншими характеристиками.

Конструкції з полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) володіють спроможністю ефективно гасити шумовий фон, що супроводжує роботу турбоагрегатів, які нині знаходять застосування в сучасних літаках, в перекачувальних агрегатах газокompресорних станцій. Шумопоглинання значно підвищується у випадку, коли із ПКМ виготовляють стільникові ненаповнені дво- або п'ятикамерні панелі. Завдяки цим властивостям, зазвичай з ПКМ (вуглепластиків марок КМУ–4э, КМУ–11э або склопластиків марок СВМ), виготовляють звукопоглинаючі панелі для авіадвигунів (наприклад, російського ПС–90А2, вітчизняного ТД–117 та ін.).

Звукопоглинаючі панелі (ЗПК), що нині виробляються серійно, мають високу вартість, оскільки є нетехнологічними у виготовленні. Конструктивно ЗПК являють собою одношарові, тришарові або п'ятишарові оболонки складної конфігурації, і виконуються у вигляді кожухів, обтікачів, діафрагм та ін. ЗПК мають значну кількість отворів невеликого діаметра (біля 1,6...2,0 мм), які виконані із кроком 10 мм x 10 мм по всій площині оболонки і призначені для підвищення шумопоглинаючих властивостей, і діаметром 6,5...10,0 мм, виконаних із забезпеченням високої точності до взаємного розташування і з витримкою квалітетних розмірів від комплекту технологічних баз. Останні призначені для кріплення цих елементів до несучої системи літака або встановлення додаткових деталей та пристроїв.

Оскільки механічна обробка деталей із ПКМ стикається із рядом складнощів, зокрема, з появою сколювань, розшарувань та інші дефектів, а також із випереджаючим пошкодженням інструменту, виникає необхідність пошуку нових методів і способів формування подібних елементів.

Прошивка отворів гідроабразивним струменем ефективна для однорідних матеріалів, однак у випадку обробки ПКМ картини дефектів можуть бути різними: спучення, розшарування, водопоглинення, відшарування та сколювання на отриманих торцях, тощо. Задача отримання якісного отвору в стільникових панелях ще більш ускладнюється: кінцева жорсткість заготовки, що вільно розташовується на робочому столі, значний час релаксації матеріалу веде до значного зростання розмірів деструктованої зони, що при необхідності виконання масиву отворів може призвести до повного пошкодження оброблюваної заготовки. Окрім того, шари у такій заготовці розташовані на відстані один від одного, порівняної із розмірами поперечного перетину струменя у відповідних його перерізах, внаслідок чого отримані отвори мають значне розсіювання діаметральних розмірів.

Незважаючи на зазначені недоліки, саме гідроабразивне прошивання отворів малого діаметра є найбільш перспективним методом перфорування стільникових панелей, оскільки цей метод володіє високою продуктивністю та відтворюваністю.

Зроблена спроба удосконалити процес перфорування стільникових панелей засобами струминної обробки. При цьому приймали до уваги, що сам процес характеризується визначеною кількістю факторів, які умовно можна звести до таких множин: Множина

характеристик оброблюваного матеріалу,  $B = \{G_i; F_j; Z_k\}$ ; Множина характеристик умов формування різального струменя та особливостей його натікання на поверхню оброблюваного матеріалу,  $C = \{S_i; N_j\}$ ; Множина динамічних характеристик гідроструминних головок та приводів подач  $D = \{GL_i; PR_j\}$ ; Наявність активізаторів процесу обробки,  $E = \{AB_i; T_j; M_k\}$ .

Комбінація елементів множин  $B$ ,  $C$ ,  $D$  та  $E$  для кожного різновиду обробки що виконуються,  $A = \{P_i; R_i\}$ , дає множину вихідних параметрів якості  $Q$ , до якої можна віднести показники, що однозначно характеризують стан матеріалу після струминного впливу. Оскільки при отриманні отворів у оброблюваних заготовках реалізуються процеси  $R_2$  – розрізання заготовок значних розмірів та  $R_3$  – прошивка початкового отвору, характеристика інших складових матиме наступний вигляд.

Характеристики оброблюваної заготовки, що складають множину  $B = \{G_i; F_j; Z_k\}$ , також можуть бути представлені двома основними векторами: вектором геометричних параметрів  $G_i$  та вектором фізико-механічних характеристик  $F_j$  (при цьому елементи останнього вектора  $Z_k$ , що характеризує фізичні властивості шару при пошаровій обробці, перетворюються на нуль). Складові множини  $C = \{S_i; N_j\}$  являтимуть собою як алгебраїчні змінні (вектор параметрів витікання струменя з струменеформуючої соплової насадки), так і логічні змінні (вектор особливостей натікання струменя на перепону).

Множина параметрів динамічної системи  $D = \{GL_i; PR_j\}$  включає два вектори – динамічних параметрів гідроструменевої головки  $GL_i$  та динамічних параметрів верстатної системи  $PR_j$ , а множина параметрів активізації ведення обробки  $E = \{AB_i; T_j; M_k\}$  складається із векторів характеристик домішок  $AB_i$  (абразиву, полімерів тощо), характеристик температурного впливу  $T_j$  та характеристик механічної активізації  $M_k$  (зокрема, ддоадткових зусиль та виникаючих напружень).

Параметри якості виконаної обробки подамо у вигляді множини  $Q = \{PP_i; RP_j\}$ , яка для випадку гідроабразивної обробки отворів наступний вигляд:  $Q = \begin{Bmatrix} PR_1 \\ PR_2 \\ PR_3 \\ PR_4 \\ PR_5 \end{Bmatrix}$ , де  $PR_1$  –

параметри якості поверхневого шару;  $PR_2$  – параметри якості площини перерізу;  $PR_3$  – загальна геометрія обробки;  $PR_4$  – параметри якості нижнього шару;  $PR_5$  – напружений стан поверхні.

З урахуванням того, що при перфоруванні розглядається процес струминно-абразивного формування отворів з контурною подачею або без неї, зазначені множини набудуть вигляду:

$$B = \begin{Bmatrix} h_i; & \bar{T}_m, \bar{E}_m, \bar{G}_m & 0 \\ 1 & k_c & 0 \\ L_j, n, H_m & 1 & 0 \end{Bmatrix}; C = \begin{Bmatrix} p_m & \\ d_c & 0 \\ D_k & 1 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & \end{Bmatrix}; D = \begin{Bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \\ \delta_z \end{Bmatrix};$$

$$E = \begin{Bmatrix} a_0 & 0 & \sigma_d, \tau_d \\ M_a & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{Bmatrix}; Q = \begin{Bmatrix} DN \\ PS \\ GR \end{Bmatrix}.$$

Комбінація впливу режимів ведення обробки, конструктивних особливостей елементів гідроструменевого обладнання та загальної схеми обробки дозволяє постулювати такий граф обумовленості  $Q = \{RP_j\}$ , параметрами  $B = \{G_i; F_j; Z_k\}$ ,  $C = \{S_i; N_j\}$ ,  $D = \{GL_i; PR_j\}$ ,  $E = \{AB_i; T_j; M_k\}$ , де  $GR$  – точність відтворення форми отворів та їх місцерозташування,  $PS$  – параметри шорсткості,  $R_a$ , мкм, та  $DN$  – величина деструкції. Оскільки виконання отворів у стільникових панелях може здійснюватися із за усім перетином, так і виключно в одному (або в двох) елементах, деталізований масив вихідних параметрів позначиться так:  $h_a, h'_a$  – товщина деструктивного шару на верхньому та нижньому елементах стільникової панелі відповідно (перший показник – для листа);  $h_{dp}, h'_{dp}$  – товщина початкової деструкції, мм (в момент наскрізного прошивання) оброблюваної заготовки;  $w, w'$  – величина розшарування армованого матеріалу;  $R_a, R'_a, \sigma_{R_a}$  – шорсткість торців верхньої та нижньої панелей стільника та дисперсія розсіювання даного показника, мкм;  $\Delta_x, \Delta_y$  – похибки розташування вісі отвору, мм;  $D'_0, D''_0$  – фактивний розмір отвору на верхній та нижній панелях стільника, мм;  $T_D$  – відхилення від циліндричності наскрізного отвору, мм.

Зважаючи на те, що один і той же вихідний параметр етапу, переходу, або операції може бути як корисним (коли він знаходиться у встановлених межах), так і шкідливим (коли він виходить за межі та потребує виконання наступного за ним переходу або етапу) або нейтральним, отримання отвору гідроабразивним прошиванням із обходом контуру може бути представлене відповідно до рис. 1.

З аналізу схеми формування властивостей стає очевидним, що отримання отворів діаметрів  $D_p$ , що значно перевищують діаметр гідроабразивного струменя  $D_k$ , можливий лише із використанням руху подачі  $s_k$  з круговим інтерполятором, при якому забезпечується видалення усіх дефектів, виниклих на етапах початкового врізання струменя в оброблювану заготовку; товщина деструктивного шару та потрібний рівень шорсткості  $R_a$  забезпечується технологічними режимами; отримання отворів у стільникових панелях діаметром  $D_m$ , порівняним із діаметром гідроабразивного струменя, тобто  $D_m \cong D_k$  (наприклад, при перфоруванні панелей, у тому числі, стільникових), можливе методом копіювання поперечного перетину струменя, однак при створенні таких умов попереднього навантаження оброблюваної заготовки, за яких отримувана деструкція не перевищуватиме встановленого рівня.

Проведення експериментальних досліджень довело, що технологічні чинники (а саме тиск рідини  $p_b$  та діаметр калібрувальної трубки  $D_k$ ) істотно впливають не тільки на товщину деструктивного шару  $h_{dp}$ , утворюваного при просіченні гідроабразивним струменем оброблюваного матеріалу, а також визначають і відхилення діаметра отвору від очікуваного значення (тобто похибки  $\Delta_{c12} = f(s_k; p_b, D_k)$  та  $\Delta_{c23} = f(s_k; p_b, D_k)$ ).

Взявши до уваги відсутність контурної подачі (умову  $s_k = 0$ ) та прийнявши до уваги енергетичні параметри струменя, отримано вираз для визначення величини похибки  $\Delta_{c1}$  у функції  $p_b, D_k$  на основі реалізації повного факторного експерименту, згенерованого пакетом Statgraphics Centurion. При цьому вплив відстані  $l_i$  між елементами стільникової панелі враховували введенням відповідного коефіцієнту товщини. Ввести цей чинник до плану експерименту досить складно, оскільки стільникові панелі мають чітко визначені геометричні параметри. Рівні варіювання факторів встановили такі:  $p_{bmin} = 200$  МПа,  $p_{bmax} = 350$  МПа, діаметр калібрувальних трубок  $D_{kmin} = 0,8$  мм,  $D_{kmax} = 1,8$  мм, діаметр струминного сопла  $d_c = 0,24$  мм, дослідженню піддавали панелі із між шаровою відстанню  $l_1 = 9,0$  мм. Досліджували окремо кожний тип композиційного матеріалу: I тип – склопластик СВМ; II тип – карбон С-49; III тип – бакелітовий стільник.

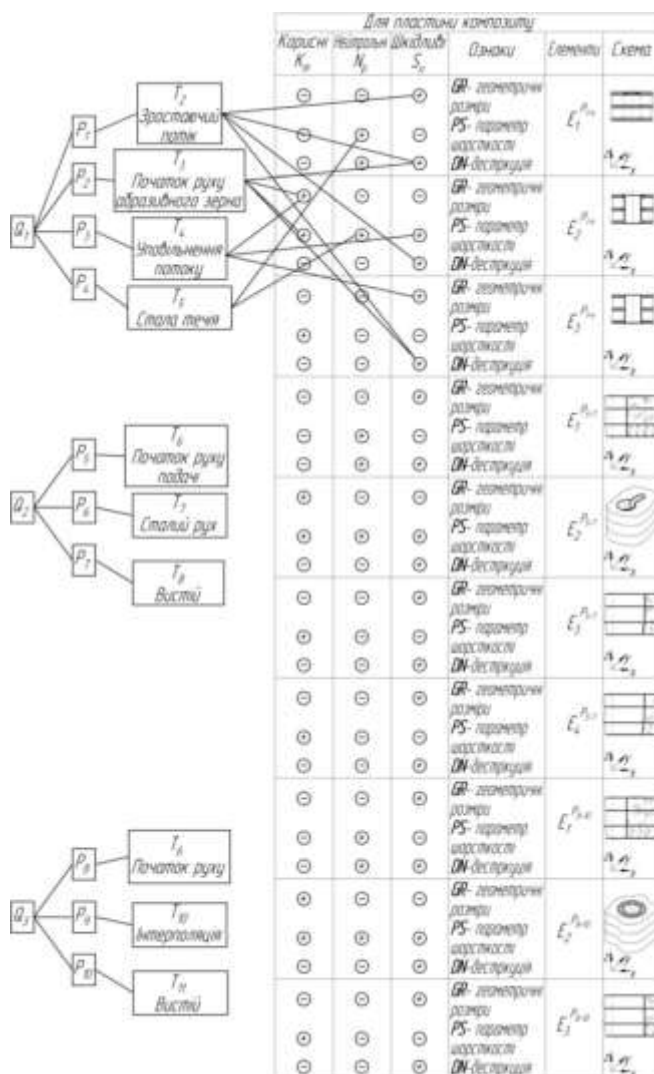


Рис.1. Формування властивостей елементів отвору на різних етапах гідроабразивного впливу отвору при контурній подачі

Досліди дублювали у кожній точці по 10 разів, для опису зміни контрольованої величини постулювали рівняння виду  $\Delta_i = CD_k^m p_b^n l_i^k$ , яке при логарифмуванні може бути приведене до лінійного виду  $\ln \Delta_i = C + m \ln D_k + n \ln p_b + k \ln l_i$ . В результаті статистичного опрацювання даних отримано регресійні рівняння, які дозволяють врахувати вплив режимів витікання рідини на збільшення діаметру отвору і які можуть бути використані при прогнозуванні вихідних параметрів якості. Взаємного впливу  $p_b$  та  $D_k$  не виявлено, вплив відстані  $l_i$  має практично лінійний характер, а окремі ефекти дії цих факторів ілюструє табл. 1 та табл. 2.

Оскільки інтервал варіювання прийнятих до уваги факторів є досить обмеженим, (тиск

рідини у гідросистемі не має бути більшим за 250-280 МПа, а калібрувальні трубки серійно випускаються розмірами проточної частини 0,8 – 1,5 мм), для інженерної методики були постульовані лінійні регресійні рівняння з фіксацією товщини стільника  $l_i = 9,0$  мм; порівняння отриманих результатів із розрахунками за рівняннями табл. 1 дозволило констатувати, що помилка розрахунку не перевищувала 5-7%, рис. 2, що є задовільним із точки зору допуску на виконуваний розмір отвору.

Врахування впливу міжелементної відстані  $l_i$  стільникової панелі у спрощених лінеаризованих залежностях табл. 2 для зазначених меж змін параметрів гідроабразивного струменя та типів оброблюваних стільників здійснено відповідним коригуванням коефіцієнтів рівнянь.

Проведені дослідження дозволили зробити висновок, що формування очікуваних параметрів якості обробки, зокрема,  $h_d, h_d'$  – товщини деструктивного шару на верхньому та нижньому елементах стільникової панелі відповідно (перший показник – для листа);  $h_{dp}, h_{dp}'$  – товщини початкової деструкції, мм (в момент наскрізного прошивання) оброблюваної заготовки;  $w, w'$  – величини розшарування армованого матеріалу;  $R_a, R_a', \sigma_{Ra}$  – шорсткості торців верхньої та нижньої панелей стільника та дисперсія розсіювання даного показника, мкм;  $\Delta_x, \Delta_y$  – похибки розташування вісі отвору, мм;  $D_0', D_0''$  – фактичний діаметр отриманого отвору на верхньому та нижньому елементах стільникової панелі, мм;  $T_D$  – відхилення від циліндричності наскрізного отвору, мм, обумовлюється як динамічними властивостями гідрорізної системи, властивостями та умовами формування гідроабразивного струменя, так і властивостями матеріалу, у тому числі, щільністю просочення армувальних волокон матрицею. Отримані рівняння для кожного досліджуваного матеріалу зведені до табл. 2.

Таблиця 1 - Регресійні рівняння обумовленості  $\Delta_i$  режимами витікання струменя

Оброблюваний матеріал	Рівняння регресії	Correlation Coefficient	Mean absolute error	Примітка
СВМ	$\Delta_c = 1,034D_k^{-0,31}p_b^{-0,67}l^{0,92}$	0,9243	0,0999986	
С-49	$\Delta_c = 0,76D_k^{-0,29}p_b^{-0,43}l^{0,95}$	0,9115	0,0999932	
Бакелітовий стільник	$\Delta_c = 2,16D_k^{-0,35}p_b^{-0,7}l^{0,95}$	0,9326	0,0999932	

Таблиця 2 – Лінеаризовані регресійні рівняння обумовленості  $\Delta_i$  режимами витікання струменя, та відстанню між елементами стільника

Оброблюваний матеріал	Рівняння регресії	Correlation Coefficient	Mean absolute error	Примітка
СВМ	$\Delta_c = (0,25 - 0,06D_k - 0,00042p_b)l$	0,9032	0,0956	
С-49	$\Delta_c = (0,13 - 0,024D_k - 0,00027p_b)l$	0,8925	0,0934	

Бакелітовий стільник	$\Delta_c = (0,085 - 0,012D_k - 0,001802)l$	0,9056	0,09342	
----------------------	---	--------	---------	--

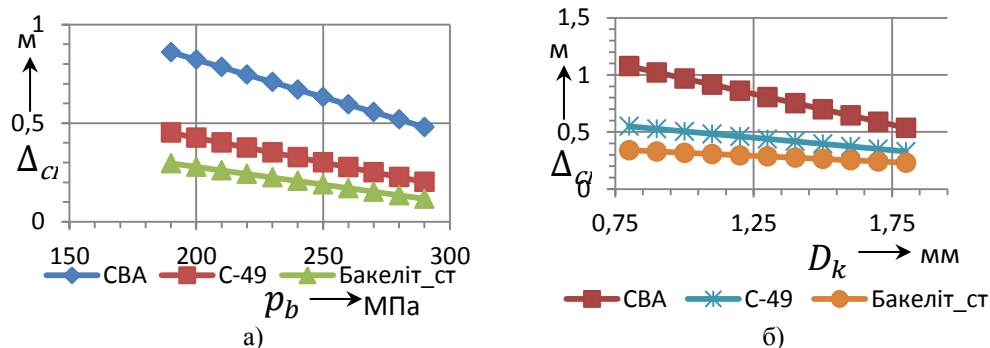


Рис. 2. Зміни контрольованого параметру  $\Delta_{ci}$  у функції  $p_b, D_k$ , побудовані за спрощеними лінійними емпіричними рівнянням

Встановлені закономірності були використані як визначальні функції для розробки інженерної методики встановлення режимів ведення обробки та розробки відповідних нових технічних рішень пристроїв для її реалізації. Було запропоновано виконувати перфорування отворів із одночасним статичним навантаженням оброблюваної поверхні та механічним відсіканням потоку рідини, завдяки чому вдалося досягти високої якості обробки та точності отримуваних отворів і уникнути розшарування та сколювання поверхні.

Отримані результати дозволили суттєво поліпшити якість отримуваних отворів (рис. 3) та забезпечити практично повну відсутність спучень, пошкоджень та розшарувань стільникової заготовки під час виконання перфорації.

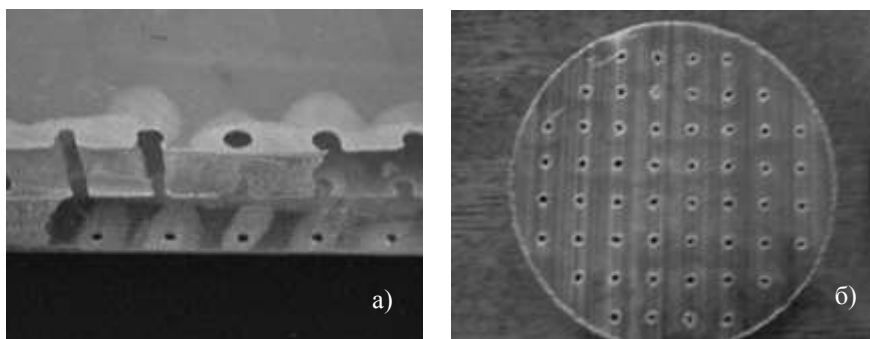


Рис. 3. Порівняння отворів, отриманих у звичайний спосіб (а) та із використанням результатів досліджень (б)

Таким чином, гідро абразивне перфорування є перспективним і високоефективним способом отримання масиву отворів малого діаметра в стільникових заготовках, використовуваних для захисту турбоагрегатів літальних апаратів. Порівняно із механічним

способом отримання отворів пропонується перевищує за продуктивністю в 7-9 разів, при цьому забезпечується належна якість поверхні отвору.



## МОЖЛИВОСТІ ЗМІНИ ФОРМИ ЗОНИ РІЗУ СТРУМИННО-ЛАЗЕРНИМИ ЗАСОБАМИ

Саленко О.Ф.<sup>1</sup>, Холодний В.Ю.<sup>2</sup>, Габузьян Г.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>д.т.н., проф., зав. кафедрою ПОМФТО Кременчуцького національного університету ім. Михайла  
Остроградського Кременчук, Україна, (Salenko2006@ukr.net)

<sup>2</sup>аспіранти кафедри ПОМФТО Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського

Тонколистові заготовки із алюмінієвих (зокрема, АМг2-Н), титанових (ВТ-15, ВТ-19) або неіржавіючих (12Х17) сплавів знаходять широке використання при виробництві стільникових панелей в авіаційній та космічній промисловості. Фольга (товщиною 0,025-0,055 мм) використовується для виготовлення заповнювачів стільникових сандвіч-панелей; вона попередньо перфорується отворами 0,05-0,18 мм і викладається у гофронабір із клейовими смужками. Як правило, обробку подібних заготовок здійснюють механічним способом (для перфорування це найбільш продуктивний та ефективний прийом формування масиву отворів, до яких високих вимог із точності не висовують); рідше отвори формують за допомогою лазерного променя. У першому випадку мають місце розриви матеріалу, що носять випадковий характер, у другому – на торці формується дефектний шар; сам отвір також має довільну форму, а поширення деструкції матеріалу носить непрогнозований характер. Інколи перфорації піддають і один із елементів сандвічу – виконують отвори 0,8-1,2 мм із кроком, пропорційним стінкам стільникового наповнювача (5x5...12x12 мм).

Розглядається можливість виконання отворів струминно-лазерним способом як таким, що передують виникненню механічних пошкоджень та термічних дефектів прилеглої до зони обробки поверхні. Відомо, що струминно-лазерне різання являє собою обробку матеріалу сполученим термічно-гідродинамічним потоком визначеної форми, внаслідок чого перепона – оброблювана поверхня – сприймає послідовно змінюване ударне гідродинамічне та температурне навантаження. Чергування цих фаз обробки відбувається усіякий раз, коли після імпульсу випромінювання лазера поверхня перепони, що контактує зі струменем, у зоні з найбільшим градієнтом швидкості потоку миттєво перегрівається і розплавляється з утворенням порожнини пересиченої пари; в паузі між імпульсами ця порожнина в потоці зникає, і поверхню поширюється ударна хвиля, з одночасним інтенсивним охолодженням зони впливу.

Якщо прийняти, що потужність випромінювання  $W$  розподілена рівномірно на деякій оброблюваній поверхні, а випромінювання надходить по нормалі, то за час  $\delta t$  до поверхні надійде енергія  $W\delta t$ . Для довжини утвореної борозенки  $S$  обсяг випареного матеріалу становитиме  $Sbl$ . На підставі закону збереженої енергії можна записати  $S\rho bl \cdot h = W\delta t$ , де  $h$  - кількість тепла, необхідного для випаровування одиниці маси матеріалу. Перетворюючи цей вираз та припускаючи, що  $\delta t \rightarrow 0$ , матимемо швидкість зростання борозенки у вигляді  $\frac{ds}{dt} = \frac{W}{bl\rho h}$ . Останнє рівняння доводить, що для будь-якого матеріалу межева швидкість зростання борозенки пропорційна щільності енерговивільнення  $W/A$ . Тоді довжина борозенки в довільний момент часу  $t$  становитиме  $l(t) = \frac{E(t)}{h\rho Sb} \int_0^t W dt$ , де  $E(t)$ - повна енергія, вивільнена джерелом за проміжок часу  $(0, t)$ .

Отже, у граничному режимі випаровування розмір борозенки залежить від повної енергії, що надходить на поверхню. З іншого боку, відбувається певне перенесення енергії вглиб матеріалу, обумовлене теплопровідністю. Це явище призводить до утворення

деструктивного шару – шару зі зміненими фізико-механічними властивостями. Задача руху границь поділу фаз із урахуванням теплопровідності відома як задача Стефана. Припускаючи, що тепло поширюється по нормалі до поверхні, матимемо одомірне нестационарне рівняння теплопровідності  $\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{D} \frac{\partial T}{\partial t}$ , для температури всередині матеріалу  $T(z, t)$  разом із граничними умовами на рухомій границі  $z = l(t)$  та на зворотньому боці заготовки. Тут  $D = K/(\rho c)$  - коефіцієнт температуропровідності,  $K, \rho, c$  - коефіцієнт теплопровідності, густина та питома теплоємність відповідно.

Нехтуючи впливом теплопровідності матеріалу, рівняння для визначення безрозмірної швидкості руху границі випаровування залежно від безрозмірного часу матиме вигляд:

$$\frac{d\xi}{d\tau} = \left[ 1 + \varepsilon \left\{ \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{\tau^{1/2}}{2} \right) - \frac{1}{(\pi \tau^{1/2})} e^{-\frac{\tau}{4}} \right\} \right] \times \frac{2}{\pi} \left\{ 1 + \frac{\varepsilon}{\pi \tau^{1/2}} \right\} \arcsin \left\{ \left( 1 - \frac{\pi \varepsilon^2}{4\tau} \right)^{1/2} \right\}$$

Розв'язання цього рівняння дозволяє обчислити динаміку та оцінити форму борозенки після впливу імпульсного лазерного променя та визначити межі поширення деструкції матеріалу, тобто визначити товщину шару зі зміненими фізико-механічними властивостями. При цьому змикання парогазової порожнини над ванною розплаву приводить до виникнення гідродинамічного удару. Тиск в момент удару струменя по поверхні ванни розплаву для рідини, що стискується, в момент удару становить  $p = \frac{\rho \cdot \dot{z}_0(t)c}{1 + \sqrt{\frac{\rho_1 E(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)}}}$ , де  $\rho_1$  – щільність

струменя;  $E, \mu$  – властивості струменя рідини.

При дії швидкоплинного струменя на розплав відбувається його практично миттєве охолодження зі швидкістю, що приблизно дорівнює швидкості звуку в матеріалі. Енергія струменя при цьому витрачається на відведення тепла від зони розплаву, на деформацію мікрообсягів та на явища у зоні зрушень на межі тіла оброблюваної заготовки і ванни розплаву. Приймаючи, що додаткова втрата кінетичної енергії, викликана впливом зрушення, дорівнює  $G$ , баланс енергії становитиме:

$$0,5m_c \cdot \dot{z}_0^2 - E + G = 0,5m_c \cdot \dot{z}^2 + 0,5m_0 \cdot \dot{z}^2,$$

де  $\dot{z}$  – швидкість після руйнування матеріалу,  $E$  - витрачена енергія, що визначається різницею кінетичних енергій струменя до й після моменту контакту,  $E = 0,5 \left( \frac{m_0}{m_0 + m_c} \right) m_c \cdot \dot{z}_0^2$ , де  $m_c$  – маса струменя за зрізом сопла;  $m_0$  – маса зруйнованого матеріалу.

Тестову обробку виконували на пластинках АМг-2Н, 12Х17 товщиною 3,5 мм на таких режимах (див. таблицю): потужність - 300 Вт, частота імпульсів – 75 Гц, продування зони різку стисненим повітрям тиском 0,35 МПа, швидкість робочої подачі – 12 мм/с. В результаті було отримано звичайну крайку шорсткістю  $Ra$  3,2 мкм, зоною термічного впливу біля 1,2-1,5 мм. Детальне електронно-мікроскопічне дослідження довело наявність окремих фазових перетворень у прилеглий до крайки ділянки, зі зміною розмірів зерен тіла зразка. Припускалося, що промінь лазера може подаватися у струмінь як у точку його контакту з поверхнею, так і у довільну точку на осі струменя. Зважали, що відбиття променя в оболонці струменя (на кут біля  $47^\circ$  для когерентного пучку з довжиною хвилі 1062 нм) дозволить забезпечити прямування променя всередині оболонки струменя.

Далі встановили під кутом  $\alpha = 15^\circ$  сопловий насадок і виконали суміщення сфокусованого пучка лазера з теоретичним центром натікання струменя на поверхню. При цьому суміщення фокусу з віссю струменя забезпечували за умови, що струмінь залишатиметься компактним, тобто  $L_{bi} < H_{bi} \cos(\alpha)$ . Також припускали, що перетяжка каустики у існуючій оптичній системі мала, а умова суміщення променя лазера з віссю

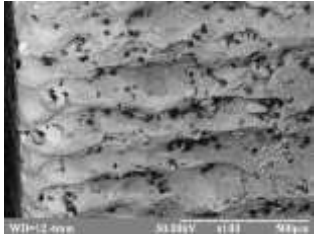
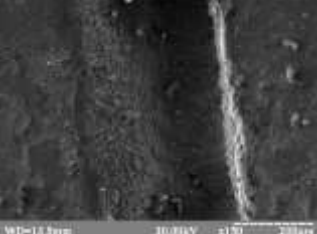
струменя виконується, коли  $W_i = L_i - \Phi \sin(\beta) = 0$ ,  $\Phi$  – фокусна відстань об'єктиву оптичної лазерної системи.

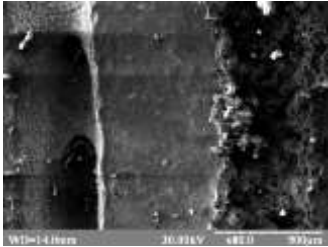
Зважаючи на те, що використовували сопло с отвором на зрізі 0,25 мм, тобто таке, що забезпечує компактне ядро довжиною 20-25 мм, із конструктивних параметрів нахил тубусу лазера встановили  $\beta=30^0$ , отримавши, відповідно, відстані  $L_f=52$  мм та  $L_b=21$  мм. Проведення пробного різання на швидкості подачі  $s=12$  мм/с показало, що процес лазерно-струминної ерозії більш продуктивний за традиційний і отримати картину самого різання в перетині досить складно. Тому швидкість подачі підвищили до  $s=35$  мм/с, отримавши борозенку глибиною 2,1-2,2 мм. Порівняння картин різання показало наступне.

Результати вимірів глибини борозенки різання при подачі  $s=35$  мм/с та інших параметрах, поданих у табл., показані на рис.1. Встановлено, що зростання діаметра струменя при збільшенні отвору сопла призводить до нерівномірного зростання глибини борозенки; для досліджуваного тиску 100 МПа використання сопел з отвором понад 0,4 мм веде до того, що глибина лунки починає зменшуватися, пори одночасному випереджаючому зростанні ширини борозенки. Сам перетин стає більш заокруглим. При перерахунку обсягу вилученого матеріалу  $q_w$  за час  $t$ , що визначається поперечним перетином борозенки  $f_b$  як  $q_w = f_b \cdot s \cdot t$ , маємо, що цей параметр зростає пропорційно. Також підвищення тиску рідини з 50 до 100 МПа за інших рівних умов викликало збільшення глибини в 1,8 рази.

Можна припустити, що подальше збільшення діаметра отвору сопла призводитиме до значного зменшення глибини борозенки різання, тобто за певних умов можливе досягнення ефекту поверхневого полірування (зняття мікрodefektів), про що зазначалося в роботі авторами деяких робіт у цьому напрямі. Також встановлено, що розсіювання випромінювання за перетином струменя на раціональній відстані відбувається практично за всім перетином, однак спостерігається суттєва відмінність інтенсивності випромінювання.

Таблиця – Електронні мікрофотографії дослідних зразків, отриманих під час досліджень (матеріал – сталь 40X)

Режими виконання обробки	Електронна мікрофотографія	Примітки
<b>1. Лазерне різання</b>  $p_e=0,35$ МПа; $S=12$ мм/с; $P=300W$ ; $F=75$ Hz		Спостерігаються поверхневі мікротріщини, поверхня має чітко виражені борозенки стікання расплаву оброблюваного металу
<b>2. Лазерно-струминне з фокусуванням на поверхні</b>  $p_e=0,35$ МПа; $S=35$ мм/с; $P=300W$ ; $F=75$ Hz; $P_p=100$ МПа; $D_c=0,25$ мм, кут нахилу струменя $\alpha=15^0$ , фокус		Поверхня однорідна, шорсткість за параметром $Ra=1,6-0,8$ мкм, Ванна расплаву має залишки частинок металу у формі кульок $d_k=10-50$ мкм. Різ несиметричний, кут нахилу гіпотетичного центру відповідає нахилу струменя

оптичної системи – 80 мм		
<b>3. Лазерно-струминне з фокусуванням у тілі струменя</b>  $p_e=0,35$ МПа; $S=35$ мм/с; $P=300$ W; $F=75$ Hz; $P_p=100$ МПа; $D_c=0,25$ мм, кут нахилу струменя $\alpha=15^\circ$ , фокус оптичної системи – 80 мм		Спостерігається одна борозенка від лазерів струминного впливу і друга на відстані біля 500-600 мкм, виникла внаслідок просвічування променем лазера струменя рідини. Нерівномірність подачі рідини призводить до виникнення каверн більшої глибини

Оскільки така відмінність може призвести до зміни очікуваного профілю отвору, проводили дослідження форми та точності отворів у заготовках із неіржавіючої сталі марки 12X17 товщиною 1,5 мм та в алюмінієвій фользі на установці ЛСК-400-5; обробку виконували з наступними режимами: тиск витікання – 5,0 – 60,0 МПа, час обробки – 0,1 с, робоча частота лазеру – 65 Гц.

При аналізі картин руйнування та отриманих отворів установлено, що процес відбувається етапно і носить квазіциклічний характер. Циклічність проявляється на кількох гармоніках та визначається як умовами течії рідини, так і частотою подачі імпульсів лазеру; практично не залежать від структури оброблюваного матеріалу та фізико-механічних властивостей його компонентів. При використанні твердотільного Nd:Yag лазеру з довжиною хвилі  $\lambda = 1062$  нм пікові амплітуди виникають на частотах  $(0,2-0,25)n_1$  та  $(2,4-3,5)n_1$ . При цьому в поверхневому шарі заготовки виникають явища, пов'язані зі зміною структури шару та його хімічного складу, оскільки в момент подання імпульсу випромінювання на поверхні виникає порожнина рідини із пересиченою парою, розміри якої циклічно змінюються при зміні режимів енергетичного впливу.

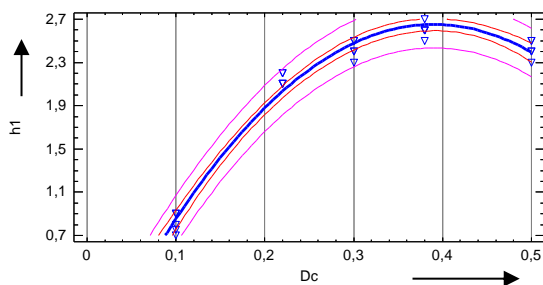


Рис.1. Зміна глибини борозенки різа  $h_1$ , мм у функції діаметра струменя,  $D_c$ , мм

У той же час струминно-променеви вплив задовільно формує профільований отвір, форма якого відносно повно відповідає профілю сопла, а також попереджає поширення теплового впливу за межі дії променя. При цьому чим більше режим руху рідини відповідає ламінарному, тим краща якість отриманого отвору, менші дефекти поверхневих шарів та менші відхилення від очікуваної форми.



Рис.2. Отвір у формі еліпсу, отриманий при усталеному русі рідини (а) та отриманий при порушенні режиму течії (б)

**Висновки.** Проведені дослідження дозволили запропонувати дієвий та ефективний спосіб отримання профільних отворів у наповнювачах стільникових панелей та у самих панелях, який відрізняється високою продуктивністю та дозволяє отримувати отвори без термічних і механічних дефектів. Спосіб може бути використаний як для фольгова них наповнювачів, так і для металевих панелей із неіржавіючої сталі товщиною до 1,5 мм.



## ПРО ВИКОРИСТАННЯ ГІБРИДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ОБРОБЦІ ПЛАСТИН ІЗ НАДМІЦНИХ МАТЕРІАЛІВ

Саленко О.Ф.<sup>1</sup>, Щетинін В.Т.<sup>2</sup>, Фомовська О.В.<sup>2</sup>, Дудюк В.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>д.т.н., проф., зав. кафедрою ПОМФТО Кременчуцького національного університету ім. Михайла  
Остроградського Кременчук, Україна, (Salenko2006@ukr.net)

<sup>2</sup>канд.техн.наук, доцент КрНУ ім. М.Остроградського

Незважаючи на те, що готові вироби з полікристалічної алмазної суміші, кубічного нітриду бору, отримують потрібні форму і розміри при їх виготовленні, існує необхідність виконання обробки таких пластин з метою забезпечення якості поверхневого шару або коригування форми. У першому випадку мова йде про практично повну незмінність форми виробу; другий передбачає виконання операцій відокремлення частини матеріалу від тіла заготовки та формування нових поверхонь і крайок.

«Холодний» метод обробки – гідро абразивне різання – має ряд беззаперечних переваг у порівнянні із методами термічного різання: відсутність термічного впливу не викликає термонапружень поверхневого шару, перетворень у зоні впливу, а також появу інших негативних факторів, у тому числі, санітарно-екологічного характеру.

«Гарячі» методи обробки, зокрема, лазерне різання, також не може бути повною мірою використане для розкрійних операцій пластинок товщиною понад 2-3 мм, оскільки підрізання променя лазера призводить до перегрівання торця різі з наступним суттєвим термічним навантаженням поверхні, що врешті призводить до розвитку сітки мікротріщин, сколювань, а також інших пошкоджень. Задача стає ще більш складною для різання пластин, що складаються із шару надмірного матеріалу (наприклад, кеборіту), нанесеного на поверхню твердого сплаву, оскільки термічний вплив веде як до когезійного, так і до адгезійного пошкодження.

Нами запропоновано здійснювати обробку пластинок методом, який після відвідування сумісної лабораторії КрНУ ім. М.Остроградського акад. М.В.Новіковим (Інститут надтвердих матеріалів ім. В.Бакуля), отримав назву гібридного, і сутність якого полягає у послідовно-паралельному сполученні високоенергетичних квантового та гідродинамічного потоку. При дослідженні даного методу отримано ряд цікавих результатів, приведені нижче.

Для виконання тестових різів використовували пластинки із CBN товщиною 4,0 мм, діаметром 10,0 мм. Пластину на обробному верстаті кріпили за допомогою універсального затискача, спроможного забезпечити надійне фіксування пластинки у заданому просторовому положенні (рис. 1).

Попередні дослідження та аналіз напружено-деформованого стану довели, що при перпендикулярному натіканні струменя виникає високоінтенсивне багаточиклове локальне навантаження, спроможне призводити до виникнення і розвитку сітки мікротріщин, орієнтованих під певними кутами відносно лінії дії сили. Було показано, що ці мікротріщини обумовлюють наявність сколів на поверхні та викривлення лінії різі, яку, внаслідок певної «гнучкості» струменя, виправити у подальшому досить проблематично.

Саме тому було прийняте рішення про різання пластинки не перпендикулярно орієнтованим струменем, а ковзним. При цьому відмінностей набував сам механізм взаємодії струменя із оброблюваним матеріалом: замість ударно-релаксаційного руйнування з'являється механізм ковзного мікрорізання. Продуктивність при цьому збільшувалася у 2-3 рази. Режими ведення обробки: тиск рідини – 250 МПа, використовуваний абразив – гранатовий пісок меш 300-400, витрата абразиву – до 0,5 кг/хв. Різання виконували багато прохідним. Зазвичай 10 проходів із швидкістю контурної подачі давали заглиблення до 0, 25

мм. У подальшому інтенсивність знімання матеріалу падала, а побудована крива має чітко виражену не лінійність.



Рис. 1. Закріплена пластинка після першого етапу обробки

Отримана якість крайки виявилася недостатньо високою внаслідок кількох причин:

1) Повертання головки та її нахил відносно поверхні оброблення викликало появу помилки позиціонування. Внаслідок цього струмінь отримав початкове відхилення, рис. 1, яке потім так і не вдалося виправити під час оброблення;

2) Нижня частина крайки виявилася досить низької якості, оскільки пластина була встановлена консольно, а, отже, при стіканні створене навантаження призводило до лавиноподібного зростання енергії вивільнення деформацій та практично миттєвого розвитку тріщин сколювання. До речі, зміна схеми технологічного навантаження та попереднє створення стискуючих напружень при різанні пластинок із карбідних та оксидних кремнієвих сполук дало змогу значно підвищити якість крайки та уникнути відколювань. Як наслідок, очевидно є вимога повного опирання оброблюваного матеріалу на базову поверхню;

3) Іншою проблемою стало отримання «косини входу та виходу струменя», прорізання супроводжувалося торцевими сколюваннями та пошкодженням.

Таким чином, для отримання тестового різку глибиною 3,2 мм було проведено 50 циклів проходу струменя із робочою подачею 250 мм/хв.. при цьому головка була встановлена під кутом  $\pi/3$  відносно поверхні оброблення.

Не зважаючи на припущення щодо «холодності» різку, при виконанні процесу спостерігалось яскраве свічення частини струменя, яка власне була запертою між соплом та поверхнею обробки; з огляду на результати, отримані акад.. неважко припустити існування температур 1000-2000 °С у зоні різання; частково таке припущення підтверджується існуванням шаржованого шару на дослідних зразках, в яких частинки абразиву практично «занурилися» в поверхню. Несподіваний результат був отриманий нами при спробі виконати різання пластини за допомогою Nd:YAG лазера, потужністю 400 Вт та працюючому на частоті 50 Гц (рис. 2).

Фокусування променя виконували за традиційною методикою, перевіряючи центрування променя та правильне потрапляння усіх його мод на фокусувальні лінзи тубусу. Продування зони впливу здійснювалося звичайним стисненим повітрям, що потрапляло до сопла діаметром 2,8 мм під надлишковим тиском 0.05 МПа; повітря фільтрувалося і надходило від ресиверу.

Оскільки впевненості в ефективності обробки не було, при першому досліді встановлювали робочу подачу на рівні 300 мм/хв., лазерній головці надавали прямолінійний рух, а відстань між зрізом сопла та поверхнею різку встановлювали за умови розташування фокальної площини на поверхні пластинки, тобто на відстані 7,2 мм. Це дозволяло б отримувати найбільшу температуру в точці дії променя, а продуванням повітря забезпечувати переміщення ванним розплаву на певну відстань углиб пластинки. Звичайно, ця відстань припускалася досить малою, оскільки для такої довжини фокусу променя істотним може виявитися ефект підрізання променя. Отже, очікувалося, що борозенка має бути неглибокою, із заокругленими краями.



Рис. 2 – Юстировка предметного столику перед дослідом

Однак мікроскопічний аналіз різку, виконаний з такими режимами, показав наступне. При подачі 300 мм/хв. вдалося отримати борозенку шириною 0,13-0,14 мм глибиною 2,5-2,6 мм; при цьому косина різку не перевищувала кількох кутових градусів, а шорсткість поверхні була на рівні  $R_a$  6,3 мкм. (рис. 3).

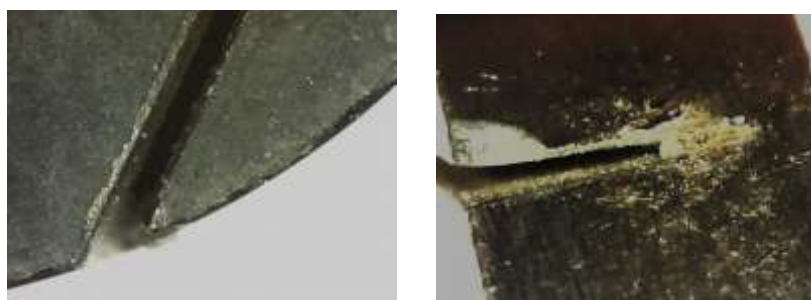


Рис. 3 – Борозенка, отримана при швидкості робочої подачі 300 мм/хв. Nd:YAG – лазером: фото з площини обробки та з торця; борозенки від краплин рідини, які потрапили на торець від повітряного потоку та були активовані лазером

Мікроскопічне дослідження торця зразка довело, що на ньому утворилися досить глибокі борозенки розбризування, які можна пояснити дією крапель рідини, утворених внаслідок потрапляння повітряного потоку в рідинну ванну, над якою власне і був розташований зразок. Руйнування поверхні відбулося внаслідок ряду процесів, обумовлених наявністю води на поверхні, активованій променем лазера.

Більш детальне вивчення мікрофотографій торця різку як з боку падіння променя, так і з протилежної сторони показало, що різ неоднорідний за структурою, а також за кількістю

поверхневих дефектів. Із приведеної ілюстрації стає очевидним, що суттєві відмінності між торцями як з боку дії променя та з протилежної сторони обумовлені більшим термічним впливом; так, з боку дії променя спостерігається зона перегріву заготовки, розміри якої обумовлені як режимами впливу, так і добротністю та прецизійністю регулювання лазера. З огляду на це, підвищення частоти слідування імпульсів може призвести до збільшення продуктивності процесу різання, однак неодмінно вестиме і до зростання зони перегріву

Однак найбільшу цікавість являє різ, отриманий лазерно-струминним впливом (рис. 4). Цим впливом вдалося повністю уникнути термічної деструкції у прилеглий зоні та забезпечити значно більшу глибину прорізання пластинки.

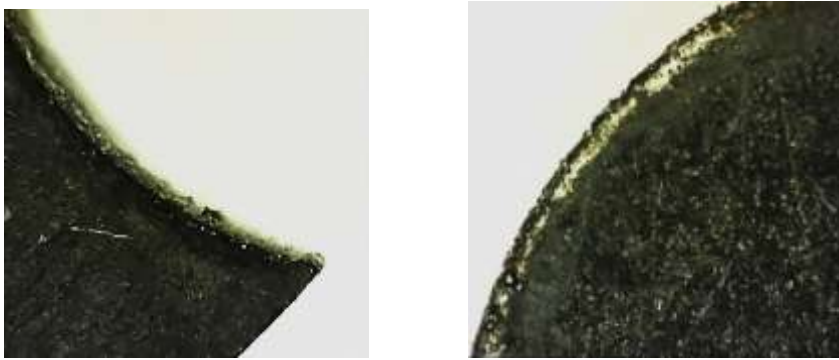


Рис. 4 - Верхня та нижня поверхні обробленої пластинки: з боку дії лазерного променя спостерігається більш широка смуга термодеструкції

Однак, як і у випадку використання оптичної системи лазера, досягнення глибини у 3-4 мм призводило до практично повного зупинення процесу різання; донце борозенки різа мало зони оплавів, що пояснюється очевидно тим, що охолоджуюча рідина не спроможна забезпечити надійне охолодження поверхні, внаслідок чого остання перегрівалася. Тепер, навіть не зважаючи на те, що було повне прорізання високоміцного шару, виконати наскрізну обробку так і не вдалося.



Рис.5 – Виконане контурне різання пластинки пропонованим гібридним способом (та для порівняння спроби виконати різання традиційними технологіями – на фото знизу)

Саме тому було зроблено спробу виконати подальше оброблення струминним методом, використовуючи зовнішню поверхню як маску. В результаті вдалося отримати

високоякісний різ криволінійної форми, який не мав істотних пошкоджень та сколювань, і не потребував додаткової обробки.

Отже, гібридний процес оброблення довів його високу ефективність та доцільність для різання пластинок із нанесеними високоміцними шарами.



**ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ И СТРУКТУР ЛЕГКОЙ  
БРОНЕЗАЩИТЫ****Загирняк М.В.<sup>1</sup>, Драгобецкий В.В.<sup>2</sup>, Наумова Е.А.<sup>3</sup>, Шаповал А.А.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> д.т.н., профессор, ректор, Кременчугского национального университета им. Михаила Остроградского, г. Кременчуг, Украина, segr@kdu.edu.ua

<sup>2</sup> д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Технология машиностроения» Кременчугского национального университета им. Михаила Остроградского, г. Кременчуг, Украина, vldrag@kdu.edu.ua

<sup>3</sup> инженер кафедры «Технология машиностроения» Кременчугского национального университета им. Михаила Остроградского, г. Кременчуг, Украина, vldrag@kdu.edu.ua

<sup>4</sup> к.т.н., старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения» Кременчугского национального университета им. Михаила Остроградского, г. Кременчуг, Украина, vldrag@kdu.edu.ua

Новым направлением кардинального улучшения баллистической стойкости защитных структур локальной бронезащиты является разработка технологии изготовления материалов с новыми химическими и фазовыми составами и структурами. Многие научно-исследовательские лаборатории мира разрабатывают новые бронематериалы на основе достижений нанотехнологий. При этом для получения объемных наноматериалов средств бронезащиты используют либо порошковые технологии, либо однослойные и многослойные нанотрубки. Однако, наноматериалы и технологии их производства до сих пор чрезвычайно дороги.

Поэтому, вполне целесообразно изыскивать резервы совершенствования традиционных технологий, обеспечивающих бронематериалам свойства, не уступающие наноматериалам.

Основные проблемы, которые связаны с обеспечением защищающей способности и технологии производства средств легкой бронезащиты, следующие:

- отсутствие технологии серийного производства биметаллической брони с внешним высокотвердым слоем 55...60 HRC и тыльным вязким слоем;
- обеспечение остаточной прочности керамической брони, т.е. способности сохранять живучесть при попадании нескольких пуль.

Что касается проблемы, технология получения слоистых композиционных материалов с заданными свойствами отработана авторами. Рекомендуемый биметалл получен методом сварки взрывом. Параметры сварки взрывом подобраны таким образом, чтобы помимо прочного соединения слоев происходило формирования оптимального физического состояния поверхностного слоя. Последний, формируется при интенсивности деформаций, которая соответствует предельной равномерной или предшествующей локальной потери устойчивости. При таких условиях деформирования свойства обрабатываемых материалов близки к свойствам нанобъемных материалов по прочности и пластичности. Для создания необходимых условий деформирования скорость детонации взрывчатого вещества, его масса и сварочный зазор подбирались следующим образом. Во-первых, деформации метаемой пластины, возникающие при ее двойном перегибе должны соответствовать предельным равномерным деформациям. Во-вторых, деформация вязкого слоя, которая возникает при соударении свариваемых пластин, также должна соответствовать предельным равномерным деформациям. Выполнение этих условий позволило получить бронезащитные слоистые пластины (сталь-алюминий-сталь; титан-алюминий-титан) с высокой баллистической стойкостью. Защитные пластины прошли боевые испытания. Фото пластин после испытаний на прострел из длинноствольного оружия представлены на рис. 1.



Рис. 1 – Композиции титан-алюминий-титан, полученные сваркой взрывом, после прострела пулями калибра 7.62 и 5.56

При ударном воздействии пуля и осколков рикошета не возникает. Пуля застревает в вязком слое композиции. Наилучшие показатели баллистической стойкости достигаются при использовании мартенсито-старееющих сталей, обладающих наиболее высокой удельной прочностью и технически чистого алюминия. На баллистическую стойкость титано-алюминиевой композиции вид полиморфной модификации используемого титана не оказывает существенного влияния. При толщине титанового слоя более 3 мм пробивания бронепластин не происходит.

Следует отметить, что многие слоистые композиции могут успешно конкурировать с керамическими материалами, устойчивыми к воздействию бронебойно-зажигательных пуль. Однако вместо них можно использовать более дешевые слоистые материалы с наклонным расположением набора пластин промежуточных слоев, слоистые композиционные материалы с керамическими пористыми прослойками, композиционные материалы с локальными зонами нулевой прочности. Наличие таких прослоек приводит к увеличению эффективной зоны деформации и баллистической стойкости.

Наиболее эффективной защитой от средств поражения, обладающих высокой энергией и проникающей способностью, – бронебойных пуль с термоупрочненным сердечником являются керамические бронематериалы. Эти материалы обладают высокой твердостью, но в то же время – очень хрупкие. Поэтому, решение этой проблемы направленно на придание им пластических свойств.

Изделия из керамики и твердых сплавов получают спеканием при высокой температуре предварительно спрессованных заготовок. Свойства керамических бронематериалов, таких как: корунд, карбид бора и карбид кремния и изделий из твердых сплавов в значительной мере определяются их пористостью. К сожалению, авторам не представилась возможность работать с бронематериалами, но был выполнен комплекс работ по повышению эксплуатационных свойств твердых сплавов (WC+Co). Выполнен комплекс экспериментальных исследований по упрочнению и формированию плотной структуры у изделий и образцов из твердых сплавов. Для повышения эксплуатационных характеристик изделий из твердых сплавов традиционно используется взрывное легирование, взрывное активирование спекания и реакционной способности порошков, формирование изделия в условиях интенсивной пластической деформации и динамических давлений. Первые опыты проводились по обжатию цилиндрических заготовок из сплава карбид вольфрама+кобальт (ВК-6) в медной оболочке бегущей детонационной волной. При таком нагружении произошла сварка взрывом меди со сплавом ВК-6, что свидетельствует о высоком уровне сдвигающих напряжений и динамических давлений. Однако уплотнения структур не

произошло. Взрывное активирование спекания и реакционной способности порошков в широком диапазоне прилагаемых давлений не дал положительных результатов по уплотнению структуры после окончательного спекания. Электровзрывное легирование, нагруженное системой ударных волн бегущих и нормально действующих на материал образца, сходящимися ударными волнами, также не привело к уплотнению структуры.

Однако, при нагружении образцов, прошедших первичное спекание и помещенных в жидкую среду под давлением, импульсом небольшой интенсивности были получены положительные результаты.

В результате проведения этих исследований по малоинтенсивному импульсному нагружению шихты или предварительно опрессованных и готовых изделий из твердых сплавов получена структура, монолитность которой значительно превышает монолитность изделий из известных твердых сплавов. На рисунке 2, 3 для примера приведены микроструктуры образцов изготовленных из твердого сплава (WC+Co).

В результате механических испытаний дополнительное нагружение после предварительного доопрессования увеличило на 24 - 27% прочность на изгиб готовых изделий из твердых сплавов. Следовательно, импульсное нагружение малой интенсивности при частотных характеристиках, соответствующих звуковым частотам, приводит к получению безпористых структур и приобретению твердыми сплавами (WC+Co) пластических свойств.

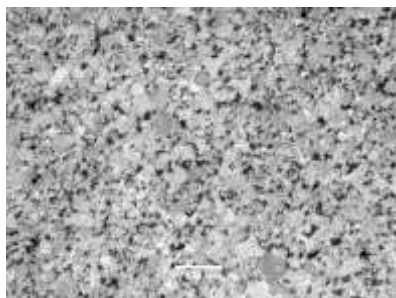


Рис. 2 – Микроструктура образца, изготовленного по серийной технологии

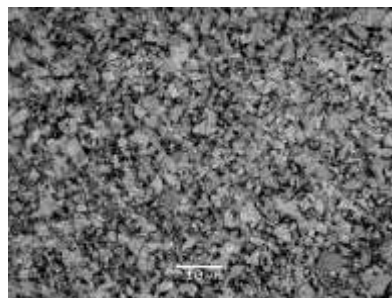


Рис. 3 – Микроструктура образца после импульсного нагружения малой интенсивности

Разработаны промышленные технологии получения слоистых бронепластин сталь-алюминий-сталь, титан-алюминий-титан. Наличие вязкого слоя обеспечивает улавливание пули и отсутствие осколков бронезащитных элементов при поражении.

Таким образом, установлено, что дополнительное импульсное нагружение малой интенсивности заготовок из твердых сплавов приводит к снижению их пористости и хрупкости, что позволяет многократно использовать керамические бронезащитные элементы в боевых условиях.



## TABLE OF CONTENTS

<b>USE OF REMOTE LABORATORIES FOR MATERIAL SCIENCES IN EDUCATION AND RESEARCH. P. Arras, T. Kozik, G. Tabunshchik.....</b>	<b>7</b>
<b>TEACHING THEORETICAL AND APPLIED ASPECTS OF THE DESIGN OF NEW MATERIALS FROM RENEWABLE SOURCES. P. Kuźniar, P. Plichta .....</b>	<b>11</b>
<b>MODERNISATION OF CURRICULA IN MATERIAL ENGINEERING UNDER MMATENG PROJECT. O. Cheilaikh.....</b>	<b>13</b>
<b>SUCCESSFUL COOPERATION OF UNIVERSITY AND INDUSTRIAL ENTERPRISES IS IN REALIZATION OF AIMS OF PROJECT MMATENG FOR UPGRADING QUALITY OF TRAINING SPECIALISTS. O. Cheiliakh.....</b>	<b>15</b>
<b>ПОЛИВАРИАНТНОСТЬ ИНДИВИДУАЛИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА MMATENG. А.П. Чейлях, В.С. Волошин, Я.А. Чейлях, В.С. Бойченко .....</b>	<b>17</b>
<b>УПРАВЛІННЯ СТРУКТУРОЮ ТА ВЛАСТИВОСТЯМИ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ ЗА РАХУНОК ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ. О.П. Чейлях, Н.Є. Караваєва .....</b>	<b>23</b>
<b>DEVELOPMENT OF NEW DISCIPLINES WITH THE AIM OF IMPROVING THE PROFESSIONAL COMPETENCE OF STUDENTS. N.E. Karavaieva .....</b>	<b>25</b>
<b>FEATURES OF TEACHING OF MATERIALS SCIENCE AT THE TECHNICAL UNIVERSITY OF MARIUPOL. M.A. Ryabikina .....</b>	<b>27</b>
<b>CAPABILITIES OF «CES EDUPACK 2014» SOFTWARE IN TEACHING OF STUDENTS IN «MATERIALS ENGINEERING». V.G. Efremenko.....</b>	<b>29</b>
<b>ON THE POSSIBILITY OF USING OF DIFFERENT ROLLED SHEET STEEL FOR MANUFACTURE OF RAILWAY TANKCARS-CONTAINERS. V.G. Gavrilova, A.B. Gogol, V.A. Rusetsky .....</b>	<b>33</b>
<b>ANALYSIS OF THE ENERGY ABSORBING PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS USED IN TRANSPORT. V.G. Gavrilova, N.E. Karavaieva .....</b>	<b>37</b>
<b>THE MODERNIZATION OF THE COURSE «PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLIDS» PROGRAM. M.A. Grigor'eva, V.A. Rusetsky.....</b>	<b>39</b>
<b>DEVELOPMENT OF THE “DOCUMENTATION”- STAGE OF THE “MATERIAL SELECTION” APPROACH. I. Tkachenko .....</b>	<b>41</b>
<b>MULTIPURPOSE OPTIMIZATION AS A KEY STAGE OF A MATERIAL SELECTION PROCESS. I. Tkachenko .....</b>	<b>43</b>

<b>QUANTITATIVE PREDICTION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF METALLIC SOLID SOLUTIONS BASED ON THE ATOM ELECTRONIC PARAMETERS OF THE COMPONENTS.</b> K. Tkachenko .....	45
<b>ПРО НЕОБХІДНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ «МАТЕРІАЛИ ІЗ ПОНОВЛЮВАНИХ РЕСУРСІВ» В НАВЧАЛЬНІ ПЛАНИ УКРАЇНСЬКИХ ВУЗІВ.</b> В. Ю. Іващенко.....	57
<b>ПРЕПОДАВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ» В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ.</b> Э.Р. Галимов, А.Г. Аблясова, А.В. Беляев .....	53
<b>ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА.</b> Э.Р. Галимов, Н.Я. Галимова, А.Г. Аблясова, Р.Ф. Шарафутдинов .....	55
<b>НОВАЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ КОМБИНИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ.</b> Э.Р. Галимов, Н.Я. Галимова, А.Г. Аблясова, А.В. Беляев .....	59
<b>ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗНАНИЙ ПО НОВЫМ ДИСЦИПЛИНАМ ПРОЕКТА MMATENG В НАУЧНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ МАГИСТРАТУРЫ КНИТУ-КАИ.</b> Т.А. Ильинкова, Ф.Н. Куртаева, А.В. Черноглазова .....	65
<b>РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТА «TEMPUS-MMATENG» В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЕ «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ» В КНИТУ-КАИ.</b> Ф.Н. Куртаева, А.В. Черноглазова, Т.А. Ильинкова .....	69
<b>СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.</b> А.В. Черноглазова, Б.Е. Байгалиев .....	73
<b>HIGHER ENVIRONMENTAL EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT THROUGHOUT THE TEACHING DISCIPLINE “ENVIRONMENTAL MATERIALS”.</b> L.G. Murtazina .....	79
<b>STRUCTURAL EVOLUTION AND PHASE TRANSFORMATION IN NANOQUASICRYSTALLINE Al-Fe-Cr ALLOY.</b> A. Yurkova, A. Byakova, A. Kravchenko .....	83
<b>PHASE AND STRUCTURAL EVOLUTION DURING MECHANICAL MILLING AND SUBSEQUENT ANNEALING OF HIGH-ENTROPY AlCuNiFeCr ALLOY.</b> V. Chernyavsky, A. Yurkova .....	89
<b>ДОСВІД ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ НОВИХ НАВЧАЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН В РАМКАХ ПРОЕКТУ «MMATENG» НА ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНОМУ</b>	95

<b>ФАКУЛЬТЕТИ НТУУ «КП».</b> Л. О. Бірюкович, Ю. І. Богомол .....	
<b>МОДИФІКУВАННЯ ПОВЕРХНІ МАГНІТНО-АБРАЗИВНИМ МЕТОДОМ.</b> О.В. Степанов, В.С. Майборода .....	99
<b>СПРЯМОВАНО АРМОВАНІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ СИСТЕМ</b> <b>Mo-Si-B, WC-W<sub>2</sub>C.</b> І.Ю. Троснікова, П.І. Лобода.....	101
<b>МЕТОДОЛОГІЯ РЕАЛІЗАЦІЇ КОМПЕТЕНТНІСНОГО ПІДХОДУ</b> <b>У ВИКЛАДАННІ ТЕХНІЧНИХ ДИСЦИПЛІН</b> <b>НАПРЯМКУ «ІНЖЕНЕРНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО».</b> В.В. Холявко .....	105
<b>ВПЛИВ МЕТОДУ КОМПАКТУВАННЯ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА</b> <b>ОСНОВІ ЗАЛІЗА ТА САМОФЛЮСІВНИХ СПЛАВІВ КОНСТРУКЦІЙНОГО</b> <b>ПРИЗНАЧЕННЯ НА ЇХ СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ.</b> А.М. Степанчук, О.А. Демиденко, Ю. Ю. Румянцева .....	109
<b>NITRIDING WITH PRE-ACTIVATION OF THE SURFACE BY THE MAGNETIC</b> <b>ABRASIVE TREATMENT.</b> M.N. Bobina, V.G. Khizhnyak, A.N. Solovar, M.V.Arshuk .....	115
<b>РОЛЬ СМАЧИВАЕМОСТІ ПРИ ПОЛУЧЕННІ СПЕЧЕНИХ</b> <b>БЕЗВОЛЬФРАМОВИХ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ.</b> А.Н.Степанчук, В.К. Витрянюк .....	117
<b>ВПЛИВ ВІДПАЛУ У МАГНІТНОМУ ПОЛІ НА МАРТЕНСІТНІ</b> <b>ПЕРЕТВОРЕННЯ В СПЛАВІ Cu-Al-Mn.</b> Л. Демченко, А. Тітенко, О. Марецький...	121
<b>СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЙ</b> <b>И УСВОЕНИЯ МАТЕРИАЛА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ</b> <b>«ТЕХНОЛОГИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ» НА ПРИМЕРЕ ПРЕПОДАВАНИЯ</b> <b>ДЛЯ РУССКИХ, ФРАНЦУЗСКИХ И ТУРЕЦКИХ СТУДЕНТОВ</b> А.Г. Корчунов, Н.В. Копцева, М.А. Полякова .....	125
<b>THE BOLOGNA PROCESS IS A WAY OF THE UKRAIN'S INTEGRATION INTO</b> <b>EUROPEAN EDUCATIONAL SPASE.</b> Z. Duriagna, E. Pleshakov.....	131
<b>IMPLEMENTATION OF COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES WITHIN</b> <b>THE MMATENG PROJECT.</b> L. Bohun, T. Tepla.....	135
<b>DFT MODELING OF TiNi<sub>2</sub>Sn PRECIPITATES FORMATION IN TiNiSn</b> <b>MATRIX.</b> V.V. Romaka, A.M. Trostianchyn .....	141
<b>ПОЄДНАННЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ</b> <b>У КОНТЕКСТІ КОМПЕТЕНТНІСНОГО ПІДХОДУ.</b> О. І. Гулай, В. Я. Шемет ....	145
<b>ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЄВРОПЕЙСЬКОГО ДОСВІДУ В</b> <b>УКРАЇНСЬКИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ ПРИ ВИКЛАДАННІ</b>	

<b>МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА. Н.Зайчук, С.Шимчук, Ю.Фешук.....</b>	<b>149</b>
<b>ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ВИСОКОМІДИСТИХ ЧАВУНІВ. Д.А. Гусачук, І.О. Парфентьєва, М.Д. Мельничук .....</b>	<b>153</b>
<b>ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ НАВЧАЛЬНИХ ПЛАНІВ В КОНТЕКСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТУ «ММАТЕНГ». В.П. Кашицький, О.В. Заболотний .....</b>	<b>157</b>
<b>РОЗРОБКА НАВЧАЛЬНИХ ПРОГРАМ З МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА НА ОСНОВІ КОМПЕТЕНТНІСТНОГО ПІДХОДУ. М.Д. Мельничук, П.П. Савчук.....</b>	<b>161</b>
<b>ОЦІНКА ВЕЛИЧИНИ ДЕФОРМАЦІЇ НЕЖОРСТКОЇ ЛИСТОВОЇ ЗАГОТОВКИ ПРИ КОНСОЛЬНОМУ МАНІПУЛЮВАННІ НА ГІДРОРІЗНИХ ВЕРСТАТАХ. В. М. Орел, О. О. Ченчева, В.Т. Щетинін, О.Ф. Саленко .....</b>	<b>163</b>
<b>ПРО ПЕРСПЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОАБРАЗИЙНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ПЕРФОРУВАННЯ СТІЛЬНИКІВ ТУРБОАГРЕГАТІВ. С.В. Коваленко, Ю.А. Павлюченко, О.М. Мана, О.Ф. Саленко .....</b>	<b>169</b>
<b>МОЖЛИВОСТІ ЗМІНИ ФОРМИ ЗОНИ РІЗУ СТРУМИННО-ЛАЗЕРНИМИ ЗАСОБАМИ. О.Ф. Саленко, В.Ю. Холодний, Г.В. Габузян .....</b>	<b>177</b>
<b>ПРО ВИКОРИСТАННЯ ГІБРИДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ОБРОБЦІ ПЛАСТИН ІЗ НАДМІЦНИХ МАТЕРІАЛІВ. О.Ф. Саленко, В.Т. Щетинін, О.В. Фомовська, В.О. Дудюк .....</b>	<b>183</b>
<b>ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ И СТРУКТУР ЛЕГКОЙ БРОНЕЗАЩИТЫ. М.В. Загирняк, В.В. Драгобецкий, Е.А. Наумова, А.А. Шаповал .....</b>	<b>189</b>



***PSTU teachers during  
KU Leuven training session***

***Coordination Meeting  
of TEMPUS-MMATENG  
Consortium at the University  
of Tel-Aviv, Israel,  
November 2014***



***Start-up Conference  
of TEMPUS-MMATENG  
at KU Leuven, Antwerpen,  
Belgium, 10-11 March, 2014***

**Tel-Aviv University.  
Israel, November 2014**



**Conference «Today material  
engineering for realization  
of the «MMATENG» project  
objectives». May, 2015**

**Monitoring of project  
implementation in National  
Technical University of  
Ukraine «KPI», 13 June, 2014**

