

მასალათმცოდნეობაში ინოვაციური კვლევების კომერციალიზების თაობაზე

On Commercialization of Innovative Studies in Materials Science

ლევან ჩხარტიშვილი – ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი
ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტი
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ოთარ ცაგარეიშვილი – ფიზიკა-მათემატიკის დოქტორი
ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტი

არჩილ მიქელაძე – ტექნიკის დოქტორი
ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტი

Levan Chkhartishvili – Doctor of Sciences in Physics & Mathematics, Professor
Ferdinand Tavadze Metallurgy & Materials Science Institute
Georgian Technical University

Otar Tsagareishvili – Doctor in Physics & Mathematics
Ferdinand Tavadze Metallurgy & Materials Science Institute

Archil Mikeladze – Doctor in Techniques
Ferdinand Tavadze Metallurgy & Materials Science Institute

რეზიუმე: მასალათმცოდნეობაში ინოვაციური კვლევების კომერციალიზების შესაძლებლობები განიხილება შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მიმდინარე პროექტის: „ბორის კარბიდის ფუძეზე ნანოსტრუქტურული ჰეტეროფაზური კერამიკული მასალებისა და გაუმჯობესებული საექსპლუატაციო მახასიათებლების მქონე ნაკეთობების მიღება“ მაგალითზე. ესაა გამოყენებითი კვლევა ტექნოლოგიური განვითარებისათვის, რომელსაც ახორციელებს კონსორციუმი შემდეგი შემადგენლობით: ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტი, ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი (წარმოდგენილი ელფეთერ ანდრონიკაშვილის სახელობის ფიზიკის ინსტიტუტითა და პეტრე მელიქიშვილის ფიზიკური და ორგანული ქიმიის ინსტიტუტით) და საქართველოს მაღალი ტექნოლოგიების ეროვნული

ცენტრი. ამ ორგანიზაციებს დიდი გამოცდილება აქვთ ბორშემცველი მასალების მიღებასა და თვისებების კვლევებში, და მათგან ნაკეთობების წარმოებასა და მარკეტინგში. ამ გამოცდილებისა და პრობლემის სამეცნიერო და საწარმოო აქტუალობის საილუსტრაციოდ საკმარისია აღინიშნოს, რომ საწარმოო დანიშნულების ნანომასალების უახლეს ენციკლოპედიურ ცნობარში პროექტის შემსრულებლების ავტორობითაა დაწერილი თავი ბორშემცველი ნანოკრისტალური მასალების შესახებ. თანამედროვე კომერციული დანიშნულების მყარ მასალებს შორის ყველაზე მაღალი სისაღე / სიმკვრივე ფარდობით ბორის კარბიდი ხასიათდება. ამ და სხვა უნიკალური თვისებების გამო, მასალები ბორის კარბიდის ფუძეზე ფართოდ გამოიყენება მანქანათმშენებლობაში, ბირთვულ ენერგეტიკაში, კოსმოსურ ტექნოლოგიებში, მედიცინაში და ა.შ. მაგრამ ბორის კარბიდის სიმყიფე და, შესაბამისად, შედარებით დაბალი ბზარმედეგობა აფერხებს წარმოებაში გამოყენებათა არეალის შემდგომ ზრდას. პროექტის მიზანია აღნიშნული ნაკლოვანების აღმოფხვრა ბორის კარბიდის ფუძეზე ნანოკომპოზიტური მასალების შექმნით. შესაბამისი ორიგინალური საწარმოო ტექნოლოგია გულისხმობს ნანოკომპოზიტური ფხვნილების მიღებას ორგანული გამხსნელებით მომზადებული თხევადი კაზიმების ზომიერ ტემპერატურებზე დამუშავებით და მათ კომპაქტირებას მყარ მასალებად და / ან ნაკეთობებად ნაპერწკლურ-პლაზმური სინთეზით. ახალი ტექნოლოგია, არსებულ ტექნოლოგიებთან შედარებით, იქნება უფრო ენერგოდამზოგავი, ეკოლოგიური და ეფექტური. პროექტის განხორციელების ფინალურ ეტაპზე შედგება კვლევის შედეგების კომერციალიზების ბიზნეს-გეგმა და მოეწყობა საპილოტე საწარმოო უბანი. საქართველოს, რეგიონული და საერთაშორისო ბაზრების წინასწარი კვლევა აჩვენებს, რომ ბორის კარბიდის ფუძეზე ნანოკომპოზიტური მასალების ფხვნილებისა და მათგან მყარი მასალებისა და ნაკეთობების წარმოება მაღალი მოგების მომტანი იქნება.

Abstract: Commercialization possibilities of innovative studies in materials science are considered for case of current Project: “Obtaining of boron carbide-based nanostructured heterophase ceramic materials and products with improved performance characteristics” of the Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia. It is an applied research for the technology development to be conducted

by the consortium consisted of: Ferdinand Tavadze Metallurgy & Materials Science Institute, Ivane Javakhishvili Tbilisi State University (represented by Elephter Andronikashvili Institute of Physics and Peter Melikishvili Institute of Physical & Organic Chemistry), and National High Technology Center of Georgia. These organizations own sound expertise in their obtaining and studying their properties, as well as manufacture and marketing of goods made from these materials. To illustrate the consortium members' expertise, and academic and industrial importance of the problem, it is suffice to say that in the recent handbook of nanomaterials for industrial applications, the Chapter devoted to the boron-containing nanocrystalline materials is authored by the Project's participants. Among the current commercial solid materials, boron carbide possesses the highest hardness-to-density ratio. For this and other unique properties, boron carbide based materials are widely used in machine engineering industry, nuclear energy production, space technologies, medicine, etc. However, boron carbide's brittleness and, therefore, relatively low stability against crack formation hamper further extension of the sphere of their industrial applications. Project aims to overcome mentioned disadvantage by creation boron carbide based nanocomposite materials. Corresponding original industrial technology includes obtaining the nanocomposite powders from organic solvents based liquid charge by thermal treatment at moderate temperatures and further compacting into solid materials and / or goods by spark-plasma synthesis. This novel technology, if compared with existing, will be more energy consuming, ecologically friendlier, and more effective. At the final stage of the Project realization, business plan for research outcomes commercialization will be elaborated and pilot production place will be organized. Preliminary research of Georgian, regional, and international markets shows high profits expected from production of powders of boron carbide based nanocomposite materials, their solid compacts, and goods.

საკვანძო სიტყვები: მასალათმცოდნეობა, ინოვაცია, კომერციალიზება, საპილოტე წარმოება.

Key Words: materials science, innovation, commercialization, pilot production.

შესავალი: თუკი წინა ეპოქებში საწარმოო ძალთა განვითარება ძირითადად ბუნებრივი მასალების დამუშავების ახალ

ტექნოლოგიებს ეფუძნებოდა, უკვე გასული საუკუნის მეორე ნახევრიდან მოყოლებული აქცენტი ახალი, წინასწარ განსაზღვრული თვისებების ანუ ფუნქციონალური დანიშნულების მქონე, მასალების შექმნაზეა გადატანილი. წინამდებარე შრომაში ამ ზოგადი და გლობალური ტენდენციის გამოვლინება თანამედროვე საქართველოში განხილულია შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მიმდინარე პროექტის AR-18-1045: „ბორის კარბიდის ფუძეზე ნანოსტრუქტურული ჰეტეროფაზური კერამიკული მასალებისა და გაუმჯობესებული საექსპლუატაციო მახასიათებლების მქონე ნაკეთობების მიღება“ (2018 – 2021 წლები) კონკრეტულ მაგალითზე. ესაა ისეთი გამოყენებითი ხასიათის ინოვაციური კვლევა მასალათმცოდნეობაში, რომელიც მიზნად ისახავს შესაბამისი საწარმოო ტექნოლოგიის შემუშავებას, საპილოტე წარმოების მოწყობას და, საბოლოოდ, ჩატარებული მეცნიერული კვლევის შედეგების კომერციალიზებას.

ძირითადი ტექსტი: თანამედროვე კომერციული დანიშნულების მყარ მასალებს შორის სისალე / სიმკვრივე ფარდობის ყველაზე მაღალი მნიშვნელობით ხასიათდება ბორის კარბიდი, რომლის მიახლოებითი ქიმიური ფორმულაა B_4C . ამ და მთელი რიგი სხვა უნიკალური თვისებების გამო, მასალები ბორის კარბიდის ფუძეზე ფართოდ გამოიყენება მანქანათმშენებლობაში, ბირთვულ ენერგეტიკაში, კოსმოსურ ტექნოლოგიებში, მედიცინაში და ა.შ.

მაგრამ ბორის კარბიდის სიმყიფე და, შესაბამისად, შედარებით დაბალი ბზარმედდევობა აფერხებს წარმოებასა და ყოფაში მის გამოყენებათა არეალის შემდგომ ზრდას. პროექტის მიზანია აღნიშნული ნაკლოვანების აღმოფხვრა ახალი ნანოკომპოზიტური მასალების შექმნით ბორის კარბიდის ფუძეზე. იგულისხმება, რომ ბორის კარბიდის მატრიცაში ჩართული იქნება გარკვეული სხვა მასალების წვრილდისპერსული ფაზები ($1 \text{ ნანომეტრი} = 10^{-9} \text{ მეტრი}$).

შესაბამისი ლაბორატორიულად დამუშავებული ორიგინალური ტექნოლოგია, რომელიც პროექტის განხორციელების შედეგად საწარმოო ტექნოლოგიად უნდა გარდაიქმნას, გულისხმობს ნანოკომპოზიტური ფხვნილების მიღებას ორგანული გამხსნელებით მომზადებული თხევადი კაზმების დამუშავებით ზომიერ ტემპერატურებზე და ამ შუალედური პროდუქტის კომპაქტირებას

მყარ მასალებად და / ან ნაკეთობებად ნაპერწკლურ-პლაზმური სინთეზის მეთოდით.

ეს ახალი ტექნოლოგია, ამჟამად არსებულ ტექნოლოგიებთან შედარებით, იქნება უფრო ენერგოდამზოგავი, ეკოლოგიური და, იმავდროულად, ეკონომიკურად ეფექტურიც.

ტექნოლოგიის შემუშავების მიმართულებით პროექტის შემსრულებლებს უკვე მოპოვებული აქვთ ერთი პატენტი [1]. ეს მიაწინებს ამ ინოვაციური ტექნოლოგიის მაღალ პატენტუნარიანობაზე. პროექტის მონაწილეები კიდევ რამდენიმე საპატენტო განაცხადის მომზადებაა გეგმავენ.

პროექტს ახორციელებს სამეცნიერო-საწარმოო კონსორციუმი შემდეგი შემადგენლობით:

- ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტი (წამყვანი ორგანიზაცია);
- ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი (თანამონაწილე ორგანიზაცია), წარმოდგენილი ელევთერ ანდრონიკაშვილის სახელობის ფიზიკის ინსტიტუტითა და პეტრე მელიქიშვილის ფიზიკური და ორგანული ქიმიის ინსტიტუტით; და
- საქართველოს მაღალი ტექნოლოგიების ეროვნული ცენტრი (სამეწარმეო იურიდიული პირი).

ამ ორგანიზაციებს დიდი გამოცდილება აქვთ დაგროვილი ბორშემცველი მასალების მიღებასა და თვისებების კვლევებში, და მათგან ნაკეთობების წარმოებასა და მარკეტინგში.

ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტი (ფთმმმი) ჯერ კიდევ ყოფილ საბჭოთა კავშირში ასრულებდა ბორის მიმართულების კოორდინატორის როლს. იმ დროიდან მოყოლებული ფუნქციონირებს ინსტიტუტში სპეციალიზებული (ამჟამად – ბორისა და კომპოზიტური მასალების) ლაბორატორია. არანაკლებ მნიშვნელოვანია ინსტიტუტის თანამედროვე მიღწევებიც. ისინი დეტალურადაა აღწერილი მოხსენებაში: „ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტში კომპოზიტური მასალების მიღების ნანოტექნოლოგიების შემუშავება – მიღწევები და პერსპექტივები“, რომელიც წარმოდგენილი იყო

მეცნიერებათა აკადემიების საერთაშორისო ასოციაციის საბუნებისმეტყველო მეცნიერებების კომიტეტის ახალი მასალების სამეცნიერო საბჭოს 21-ე სესიაზე „კომპოზიტური ნანოსტრუქტურული მასალები – მიღება, გამოყენება და რესურსი“, კიევი, უკრაინა, 2016 წლის 24 მაისი (მოხსენების ტექსტისა და ილუსტრაციებისათვის იხ., შესაბამისად, [2] და [3]).

კონკრეტულად პროექტის წამყვანი ორგანიზაციის – ფთმმმ-ის მკვლევართა ჯგუფის მაღალი საერთაშორისო სამეცნიერო რეპუტაციისა და საკუთრივ სამეცნიერო პრობლემის წარმოებისათვის აქტუალობის საილუსტრაციოდ საკმარისია აღინიშნოს, რომ საერთაშორისო აკადემიურმა გამომცემლობის Elsevier საწარმოო დანიშნულების ნანომასალების უახლეს ენციკლოპედიურ ცნობარში, სწორედ მათი ავტორობითაა დაწერილი თავი ბორშემცველი ნანოკრისტალური მასალების შესახებ [4]. ისიც აღსანიშნავია, რომ ეს არის მე-2 თავი, რომელიც უშუალოდ მოსდევს რედაქტორისეულ 1-ლ ანუ შესავალ თავს, სადაც ამგვარი მასალების ზოგადი კლასიფიკაციაა მოცემული.

ფთმმმ-ში მოხდება ბორის კარბიდის ფუძეზე ნანოკომპოზიტურ ფხვნილების, შესაბამისი მყარი მასალებისა და მათგან ნაკეთობების მიღება, აგრეთვე, ამ პროდუქტების სტრუქტურისა და მორფოლოგიის, ქიმიური და ფაზური შემადგენლობების და რიგი ტექნოლოგიური თვისებების ექსპერიმენტული შესწავლა. აქვე ჩატარდება ბორის კარბიდის ფუძეზე ზესალი ნანოკომპოზიტების ანსამბლირების პროცესების ზოგადთეორიული და, კერძოდ, თერმოდინამიკური გამოკვლევა.

ელეფთერ ანდრონიკაშვილის სახელობის ფიზიკის ინსტიტუტში (ეასფი) ჩატარდება მიღებული ნანოკომპოზიტური კომპაქტების მექანიკური და მთელი რიგი სხვა ფიზიკური თვისებების ექსპერიმენტული გამოკვლევა. ეასფი-ის ჯგუფს დიდი გამოცდილება აქვს ამ მიმართულებით, ისევე როგორც ბორის სტაბილური იზოტოპებით გამდიდრებული მასალების შესწავლაში, რომლებიც ბირთვულ ენერგეტიკაში გამოიყენება.

პეტრე მელიქიშვილის ფიზიკური და ორგანული ქიმიის ინსტიტუტში (კმფოქი) მომზადდება პრეკუსორი მასალები ნანოკომპოზიტური ფხვნილებისათვის ბორის კარბიდის ფუძეზე.

პმფოქი-ის კვლევითი ჯგუფის გამოდილებაც საკმაოდ მნიშვნელოვანია პროექტისათვის, რადგანაც, როგორც აღინიშნა, ახალი ტექნოლოგია ორგანული გამხსნელების გამოყენებაზეა დაფუძნებული.

სპეციფიკურია საქართველოს მაღალი ტექნოლოგიების ეროვნული ცენტრის (სმტეც) როლი პროექტში, რადგანაც იგი წარმოადგენს არა კვლევით ინსტიტუციას, არამედ – სამეწარმეო იურიდიულ პირს. თუმცა სმტეც, როგორც სამეწარმეო შპს, შექმნილია ისეთი დიდი კვლევითი ტრადიციის მქონე ორგანიზაციის ბაზაზე, როგორიც იყო თბილისის სტაბილური იზოტოპების სამეცნიერო კვლევითი ინსტიტუტი. ამჟამად სმტეც აწარმოებს და წარმატებით ყიდის საერთაშორისო ბაზრზე (დასავლეთ ევროპის ქვეყნები, იაპონია, ჩინეთი და სხვა) მრავალი დასახელების მასალას, მათ შორის, ბორის კარბიდის ფხვნილებს.

სმტეც მნიშვნელოვან როლს შეასრულებს პროექტის კვლევით ეტაპზე მიღებული ნიმუშების დახასიათებასა და სერტიფიცირებაში, ლაბორატორიულიდან საწარმოო ტექნოლოგიაზე გადასვლაში, საპილოტე წარმოების ორგანიზებაში და, აგრეთვე, მიღებული პროდუქციისათვის გასაღების ბაზრიების მოძიებაში.

პროექტის განხორციელების ფინალურ ეტაპზე შედგება კვლევის შედეგების კომერციალიზების ბიზნეს-გეგმა და მოეწყობა საპილოტე საწარმოო უბანი.

პროექტის ფარგლებში დამუშავებლი ტექნოლოგიით მიღებული იქნება ახალი ტიპის ნანოსტრუქტურული ჰეტეროფაზური ფხვნილები ბორის კარბიდის ფუძეზე და შესაბამისი მყარი მასალები და ნაკეთობები. ბაზრის წინასწარი კვლევა აჩვენებს, რომ აღნიშნული პროდუქციით დაინტერესებული იქნებიან:

- კონსორციუმის წევრი სამეწარმეო იურიდიული პირი – შპს „სმტეც“;
- საქართველოს სამეცნიერო-კვლევითი ცენტრები და დაწესებულებები;
- საქართველოს სახელმწიფო სამხედრო სამეცნიერო ტექნიკური ცენტრი „დელტა“, რომლის შემადგენლობაშიც შედის პროექტის წამყვანი ორგანიზაცია – ფთმმმი;

- საქართველოს ლითონდამამუშავებელი საწარმოები, რომლებიც ზემტკიცე მასალებისათვის იყენებენ საჭრისებს, თვალაკებს, პრეს-ფორმებს და სხვა;
- რეგიონის სხვა ქვეყნების ანალოგიური მიმართულების ინსტიტუციები და საწარმოები.

როგორც ამგვარი პროდუქციის, ისე თავად მისი მიღების საწარმოო ტექნოლოგიის განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი მომხმარებელი უნდა იყოს თურქეთი. საქმე ისაა, რომ ეს ქვეყანა ფლობს მსოფლიოში დაზვერილი ბორის რეზერვების 72 %-ს და, შესაბამისად, მაღალია მისი როლი ამ ნედლეულის მოპოვებაში და მიწოდებაში საერთაშორისო ბაზრისათვის [5]. მაგრამ თურქეთი არაა მოწინავე მიწინავე ბორშემცველი მასალების მიღებაში და მათგან მზა პროდუქციის წარმოებაში. ამ ჩამორჩენის აღმოსაფხვრელად თურქული სახელმწიფო დიდ ფინანსურ და სამეცნიერო-ტექნიკურ რესურსებს წარმართავს.

წინასწარი შეფასებით, საქართველოს, რეგიონული და საერთაშორისო ბაზრებისათვის ბორის კარბიდის ფუძეზე შექმნილი ნანოკომპოზიტური მასალების ფხვნილებისა და მათგან წარმოებული მყარი მასალებისა და ნაკეთობების მიწოდება მაღალი მოგების მომტანი იქნება.

დასკვნა: შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის პროექტის AR-18-1045: „ბორის კარბიდის ფუძეზე ნანოსტრუქტურული ჰეტეროფაზური კერამიკული მასალებისა და გაუმჯობესებული საექსპლუატაციო მახასიათებლების მქონე ნაკეთობების მიღება“ (2018 – 2021 წლები) განხორციელება გახდება მასალათმცოდნეობაში ინოვაციური კვლევების კომერციალიზების კარგი მაგალითი. ბორის კარბიდის ფუძეზე შექმნილი ნანოკომპოზიტური მასალების ფხვნილებისა და მათგან წარმოებული მყარი მასალებისა და ნაკეთობების მიწოდება ბაზრისათვის მაღალი მოგების მომტანი იქნება.

მადლიერება: კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური მხარდაჭერით (პროექტი AR-18-1045: „ბორის კარბიდის ფუძეზე ნანოსტრუქტურული ჰეტეროფაზური კერამიკული მასალებისა და გაუმჯობესებული საექსპლუატაციო მახასიათებლების მქონე ნაკეთობების მიღება“).

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. ცაგარეიშვილი ო., მიქელაძე ა., ჭედია რ., ჩხარტიშვილი ლ. ბორის კარბიდის ფუძეზე ნანოსტრუქტურული სალი მასალების მიღების ხერხი. საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი „საქპატენტი“ – პატენტი # GE P 2018 6709 B, 2018 წლის 11 ოქტომბერი.

2. Тавадзе Г. Ф., Чхартишвили Л. С. Разработка нанотехнологий получения композиционных материалов в Институте металлургии и материаловедения им. Фердинанда Тавадзе – Достижения и перспективы. Nano Studies, 2016, 13, 59-78.

3. Тавадзе Г. Ф., Чхартишвили Л. С. Разработка нанотехнологий получения композиционных материалов в Институте металлургии и материаловедения им. Фердинанда Тавадзе – Достижения и перспективы. В сб.: Проблемы современного материаловедения (Ред.: Бабаев А. В., Песецкий С. С., Плескачевский Ю. М.), 2017, Гомель, ИММПС им. Белого В. А., 9-11.

4. Chkhartishvili L., Mikeladze A., Tsagareishvili O., Gachechiladze A., Oakley A., Margiev B. Ch. 2: Boron-containing nanocrystalline ceramic and metal-ceramic materials. In: Handbook of Nanomaterials for Industrial Applications (Ed. Hussain Ch. M.), 2018, Amsterdam, Elsevier, 13-35.

5. Kar Y., Sen N., Demirbas A. Boron minerals in Turkey, their application areas and importance for the country's economy. Minerals & Energy, 2006, 3-4, 2-10, 1404-1409.