

## მასალათმცოდნეობა – კაცობრიობის განვითარების თანამდევში მცნეობა ომარ შურაძე

(ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტი)

**რეზიუმე:** სტატიაში თანამედროვე საძიებო სისტემების მონაცემთა ბაზაზე\* დაყრდნობით სისტემატიზებული და გაანალიზებულია მასალათმცოდნეობის როლი კაცობრიობის ისტორიული განვითარების სხვადასხვა ეტაპზე და თანამედროვე პირობებში. ნაჩვენებია ახალი მასალების შექმნის აუცილებლობის გამომწვევი პირობები და მათი როლი ტექნიკის განვითარებასა და სამეცნიერო-ტექნიკურ პროგრესში. განხილულია სამგანზომილებიანი ობიექტების დამზადების უახლესი SLM (Selective laser melting) ტექნოლოგია. აღწერილია მასალების სტრუქტურისა და თვისებების კვლევის მეთოდების შექმნის ისტორია. წარმოდგენილია 2011 – 2012 წლებში გამოქვეყნებული სტატიების მიხედვით შექმნილი მსოფლიო მეცნიერების რუკა. მოცემულია მეცნიერების, კერძოდ მასალათმცოდნეობის, განვითარების მოსალოდნელი პრიორიტეტული მიმართულებები.

**საკვანძო სიტყვები:** მასალათმცოდნეობა; ლითონმცოდნეობა; კერამიკა; ლითონური მასალები; პოლიმერული მასალები; SLM ტექნოლოგია; 3D ტექნოლოგია; 3D პრინტერი; 3D ადბეჭდვა; სამგანზომილებიანი ობიექტის ანაბეჭდი; კომპიუტერული მოდელირება; ნანონაწილაკები; ნანომეტრული ტექნოლოგია; ნანომასალები; ციტირების ინდექსი; მეცნიერებათმზომელობა; ბიბლიომეტრია; მსოფლიო მეცნიერების რუკა.

### შესავალი

ადამიანის მიერ მასალების ათვისება მისი არსებობის ისტორიის ნაწილია. უძველესი ადამიანის უპირველესი მოთხოვნები საკვებ პროდუქტებსა და თავშესაფარზე ორგანულად უკავშირდება სხვადასხვა მასალის გამოყენების აუცილებლობას. თავშესაფრის მოსაწყობად, შრომისა და საბრძოლო იარაღების დასამზადებლად თავდაპირველად იყენებდნენ მზა ბუნებრივ მასალებს (ქვა, ძვალი, ტყავი). საზოგადოების განვითარებასთან ერთად გაიზარდა მოთხოვნები უფრო მტკიცე, გამძლე და ხარისხიან მასალებზე, რომელთა მოპოვება-გამოყენებას, თავის მხრივ, ადამიანი განვითარების ახალ საფეხურზე აყვავდა. საუკუნეების განმავლობაში მან თანდათანობით ისწავლა ლითონის მიღება-დამუშავება-გამოყენება. მასალების როლი კაცობრიობის განვითარების ამა თუ იმ პერიოდისათვის ასახულია საზოგადოების განვითარების საფეხურების დასახელებებში: ქვის ხანა, სპილენძის ხანა, ბრინჯაოს ხანა, რკინის ხანა.

### ძირითადი ნაწილი

ჩვენი მიზანია (ინტერნეტ რესურსების მასალების სისტემატიზაციითა და ანალიზით) წარმოვადგინოთ მასალათმცოდნეობის განვითარების ძირითადი ისტორიული ეტაპები, მასალათა თვისებების კავშირი მათი სტრუქტურის თავისებურებებთან და მიღების ტექნოლოგიასთან, თანამედროვე

\* www Google. ge

მასალათმცოდნეობის განვითარების ზოგადი მდგომარეობა; აღვწერთ ის ძირითადი ტექნიკური ძვრები, რომლებიც გამოწვეულია ახალი სპეციალური დანიშნულების მასალების შექმნის აუცილებლობით და მასალათმცოდნეობის განვითარების ამჟამინდელი დონით. ვაჩვენოთ სხვადასხვა დანიშნულების ახალი მასალების დამუშავების, მათი სტრუქტურის ფორმირებისა და თვისებების შესწავლის, აგრეთვე წარმოების სხვადასხვა დარგში ექსპლუატაციისას მათი ქცევის პროგნოზირების რეალური გზები.

ზოგადად, თანამედროვე მასალები დაყოფილია სამ პირობით ჯგუფად: ლითონურ, არალითონურ და კომპოზიციურ მასალებად. ძირითადი საბაზო კომპონენტის მიხედვით, ლითონური მასალები, თავის მხრივ, იყოფა შავი და ფერადი მეტალურგიის მასალებად. თანამედროვე მრეწველობის მიერ მოთხოვნილი და სხვადასხვა დარგში გამოყენებული ლითონური მასალების 90 %-ზე მეტი შავი მეტალურგიის ნაწარმზე მოდის.

ისტორიულად ლითონური და არალითონური მასალების უამრავი სახეობაა შექმნილი. მსოფლიოს ყველა ქვეყანას თავისი წვლილი აქვს შეტანილი ახალი, განსაზღვრული ჯგუფის მასალების დამზადება-დამუშავების ტექნოლოგიის შემუშავებისა და კვლევის საქმეში. ამ პროცესებს თან ახლდა გარკვეული ცოდნის დაგროვება და გავრცელება. ამდენად, მასალათმცოდნეობა ჩანასახიდანვე ინტერნაციონალურ მეცნიერებადია მიჩნეული და მის მეცნიერულ საწივებს საზოგადოების ისტორიული განვითარების სიღრმეებში აქვს ფესვები.

პირობითად შეიძლება გამოიყოს სამი ძირითადი ეტაპი. მასალათმცოდნეობის, როგორც მეცნიერების, წარმოშობისა და მისი განვითარების თითოეული ეტაპი განპირობებული იყო მატერიალური წარმოებით. თავის მხრივ, წარმოების განვითარება წარმოადგენდა მასალებზე საზოგადოების მზარდი მოთხოვნების შედეგს. მაგალითად, არქეოლოგიური კვრამიკული მასალები იმის საფუძველს იძლევა, რომ თიხის გახურებით და გამოწვით ნაკეთობის სტრუქტურის შეგნებული ცვლილება შესაძლებელია ჩაითვალოს მასალათმცოდნეობის, როგორც მეცნიერების, დასაწყისად, ე.ი. პირველ ეტაპად.

განვითარების მეორე ეტაპზე ადამიანი იყენებს ჯერ თვითნაბად და შემდეგ მდნეულ ლითონებს. თვითნაბადი ცივნაჭედი სპილენძი გამოაძევა მდნებიდან მიღებულმა სპილენძმა, ხოლო შემდეგ სპილენძზე სხვა ელემენტების დამატებით მიიღეს ბრინჯაო. ამავე პერიოდში იწყება კეთილშობილი ლითონების დამუშავებაც.

ლითონების გამოყენების მასშტაბის განუხრევლად ზრდამ ადამიანი მიიყვანა რკინის ხანამდე (მესამე ეტაპი). ხის ნახშირით გახურებულ ქურაზე გუნდა რკინის ჭედვისას მან შეძლო რკინა-ნახშირბადის შენადნობის მიღება. რკინის თვისებების გაუმჯობესების გზების ძიებით კი იგი აღმოჩნდა თერმული დამუშავების საწყისებთან. ადამიანის თეორიული წარმოდგენები თანდათან ივსებოდა ახალი ფაქტებით. დაკვირვებებსა და ინტუიციასზე დაყრდნობით თანდათანობით იხვეწებოდა ლითონების დამუშავების თეორია. ისტორიულად თაობიდან თაობას გადაეცემოდა როგორც თეორია, ისე ამა თუ იმ ნაკეთობის დამზადების პროცესების თავისებურებები.

თეორიული და ცდისეული ცოდნის გაერთიანებით შესაძლებელი გახდა დადგენილიყო ბუნებრივი მასალების დამუშავების ეფექტური მეთოდები. მათი სისტემატიზაციისა და ანალიზისათვის კი საჭირო იყო მეცნიერების დარგის – მასალათმცოდნეობის ჩამოყალიბება, რომელიც შეისწავლიდა ცივილიზაციის არსებობის მანძილზე ადამიანის მიერ შექმნილი ყოველგვარი მასალის აგებულებასა და თვისებებს.

თანამედროვე მასალათმცოდნეობა პირობითად დაყოფილია თეორიულ მასალათმცოდნეობად და გამოყენებით მასალათმცოდნეობად.

თეორიული მასალათმცოდნეობა განიხილავს მასალის აგებულებას და გარე ზემოქმედებისას მასში მიმდინარე პროცესების ზოგად კანონზომიერებებს; ეყრდნობა სხვადასხვა მეცნიერების (ფიზიკა, ქიმია, მექანიკა და სხვ.) მიღწევებს. ასე რომ, ტექნიკაში გამოყენებული მასალების ნაკეთობად გადამუშავების ეფექტურობა მეცნიერების მრავალი დარგის საერთო მიღწევაა.

გამოყენებითი მასალათმცოდნეობის ამოცანაა კონსტრუქციების, მანქანათა ნაწილების, მოწყობილობებისა და სხვა ტექნიკური ნაკეთობების დამზადებისას გამოყენებული მასალების ოპტიმალური სტრუქტურისა და ნაკეთობად მათი გადამუშავების ტექნოლოგიის განსაზღვრა.

მასალების თვისებების მეცნიერული კვლევის რეალური ნაბიჯები გადაიდგა XIX საუკუნის დასაწყისში. მისი სწრაფი განვითარება უკავშირდება იმ დროს არსებულ მძლავრ სამეცნიერო-ტექნიკურ პროგრესს. საზოგადოებას სჭირდებოდა მაღალი ხარისხის, მტკიცე და მდგრადი ნაგებობები და კონსტრუქციები. მასალათმცოდნეობა თავისი განვითარების გზაზე ახალ-ახალ დავალებებს იღებდა მეცნიერ-კონსტრუქტორებისაგან. ამ დროიდან მასალების წარმოება და მათი თვისებების გაუმჯობესება საზოგადოებრივი განვითარების გაზრდილი მოთხოვნების შესაბამისად წარიმართა. პარალელურად სწრაფი ტემპით განვითარებადი მანქანათმშენებლობა გახდა მასალების მზარდი მომხმარებელი. შეიქმნა ახალი ლითონური და პოლიმერული მასალები, მაგრამ ტექნიკის მრავალ დარგში გამოყენების მხრივ უპირატესობა ლითონურ მასალებს მიენიჭა. აქედან გამომდინარე, მასალათმცოდნეობაში ჩამოყალიბდა კვლევის ახალი, მძლავრი მეცნიერული მიმართულება – ლითონთმცოდნეობა, რომელიც ძირითადად იკვლევს სხვადასხვა დანიშნულების ახალი ლითონური მასალების დამუშავების, მათი სტრუქტურის ფორმირებისა და თვისებების შესწავლის პროცესებს. ამასთან, წარმოების სხვადასხვა დარგში ექსპლუატაციისას ახდენს მათი ქცევის პროგნოზირებას.

ლითონთმცოდნეობა დაამუშავებს მასალების კვლევის განსაკუთრებული მეთოდები. მათი უპირველესი მოთხოვნა იყო საკვლევი მასალების ქიმიური შედგენილობის ზუსტად განსაზღვრა. პირველი მიკროსკოპის შექმნით დაიწყო მეტალოგრაფიული კვლევები. დადგინდა ფოლადის აღნაგობასა და თვისებებს შორის მჭიდრო კავშირის არსებობა. გამოკვლეულ იქნა ნახშირბადისა და სხვა ელემენტების გავლენა ფოლადის თვისებებზე. ამასთან, აღმოჩენილ იქნა ფაზური გარდაქმნები ფოლადებში და დადგინდა ამ გარდაქმნების კრიტიკული წერტილები – ტემპერატურები.

1876 წელს ჯოზაია უილარდ გიბზის მიერ გამოქვეყნებული ნაშრომით „ჰეტეროგენული სისტემების წონასწორობის შესახებ“ საფუძველი ჩაეყარა ლითონთმცოდნის მთავარ სამუშაო ინსტრუმენტს – თანამედროვე თერმოდინამიკასა და ფიზიკურ ქიმიას. მალე, 1898 წელს უილიამ რობერტ-ოსტენმა ააგო რკინა-ნახშირბადის სისტემის ფაზური გარდაქმნების დიაგრამა, რითაც დაიწყო ანალოგიური დიაგრამების აგების პროცესები სხვა სისტემებისთვისაც. სპეციალისტებმა ეს პროცესები დამწერლობის შემოდების ტოლფასად აღიქვეს, ვინაიდან ფაზური დიაგრამები ლითონთმცოდნისათვის იგივეა, რაც ანბანი.

ლითონების კვლევისას ფართოდ გამოიყენებოდა ფიზიკურ-ქიმიური ანალიზის მეთოდები. დადგინდა მასალის თვისებების ცვლილების დამოკიდებულება შედგენილობაზე. შესწავლილ იქნა ტემპერატურის გავლენა ფოლადის სტრუქტურის ცვლილებების თანმიმდევრობებზე. ნათელი მოეფინა მასალების მიერ თვისებათა გამოვლენის მრავალსახეობას. შესაძლებელი გახდა სტრუქტურის მართვა (გარკვეულ დონემდე) და სხვადასხვა პირობის დროს ამა თუ იმ მასალის ქცევის პროგნოზირება. დაიწყო მეცნიერ-მასალათმცოდნეთა მიღწევების წარმოებაში გამოყენება. მათი დანერგვით მოიხსნა მრავალი საწარმოო პრობლემა, შემცირდა წუნდებული პროდუქციის რაოდენობა და გაფართოვდა პროდუქციის ასორტიმენტი, ამალღდა საწარმოო უსაფრთხოების დონე და შემცირდა პროდუქციის თვითღირებულება.

მასალათმცოდნეობის განვითარების ისტორია უწყვეტადაა დაკავშირებული მასალების თვისებებისა და შინაგანი აგებულების კვლევის მეთოდების განვითარების ისტორიასთან. ლითონების კვლევის საქმეში დიდ წარმატებად უნდა იქნეს მიჩნეული მაქს ფონ ლაუეს მიერ აღმოჩენილი რენტგენის სხივების კრისტალზე დიფრაქციის ფაქტი (1912 წ.). ერთი წლის შემდეგ ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად გიორგი ვულფმა და მამა-შვილმა უილიამ ჰენრიმ და უილიამ ლორენს ბრეგებმა გამოიყვანეს რენტგენოსტრუქტურული ანალიზის ძირითადი ფორმულა, ე. წ. ვულფ-ბრეგების წესი. ამით დაიწყო კრისტალური მასალების რენტგენოსტრუქტურული კვლევების ერა.

ლითონის ფიზიკურ-ქიმიური და ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების კვლევების დიდ მიღწევად უნდა ჩაითვალოს მყარი ტანის მექანიკის საფუძვლების შექმნა. ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად ეგონ ოროვანმა, მიქაელ პოლანიმ და ჯეფრი ინგრამ ტეილორმა ლითონური მასალების პლასტიკურობა ახსნეს დისლოკაციების ჩასახვით და მოძრაობით (1934 წ.). პიტერ ჰირშიმა კვლევებთან ერთად ელექტრონული მიკროსკოპით დააფიქსირა დისლოკაციების არსებობა ლითონებში (1956 წ.). ამ ფაქტით დადასტურდა არა მარტო დისლოკაციების თეორიის რეალობა, არამედ მოხდა ელექტრონული მიკროსკოპების შესაძლებლობების დემონსტრირებაც.

ლითონმცოდნეებმა მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანეს ნებისმიერი ტექნიკური სიახლის შექმნასა და საჭირო თვისებების ლითონური და კომპოზიციური მასალების მოძიებაში. საავიაციო, კოსმოსური, ატომური ენერგეტიკის და სამხედრო ტექნიკის დაჩქარებული ტემპებით განვითარებამ განსაკუთრებული აქტუალურობა შესძინა ლითონმცოდნეობის წინსვლა-განვითარებას. ამ სფეროებმა დღის წესრიგში დააყენა ახალი, სპეციალური და განსაკუთრებული თვისებების მქონე შენადნობების შემუშავების აუცილებლობა. ავიაკოსმოსური დარგის მეცნიერ-კონსტრუქტორთა წინაშე მუდმივად დგას ორი ძირითადი პრობლემა: კონკრეტული აპარატის ჰაერში ასაწევად საჭირო ძალური დანადგარის შექმნა და კუთრი დატვირთვის გასაზრდელად აპარატის მასის შემცირება. არსებობს ფაქტები იმის შესახებ, რომ მრავალი გენიალური ინჟინრული პროექტი არ განხორციელებულა (ალბათ დღესაც არ რეალიზდება) იმ მიზეზით, რომ დაპროექტების მომენტისათვის არ არსებობდა ისეთი მასალა, რომელიც ინჟინერს იდეის კონსტრუქციაში გადატანის საშუალებას მისცემდა. მაგალითად, დიდმა ლეონარდო და ვინჩიმ ვერ შეძლო აეგო მის მიერ კონსტრუირებული შეუუღმფრენი იმის გამო, რომ იმ დროისათვის ჯერ კიდევ არ იყო შემუშავებული მაღალი კუთრი სიმტკიცის მასალა.

ტექნიკის მოთხოვნამ სწრაფი ტემპებით განვითარა ახალი მასალების მოძიების პროცესები. XX საუკუნის გარიჟრაჟზე ლეონ ვილემმა შეიმუშავა პირველი უჟანგავი ფოლადის შედგენილობა (1904 წ.), რითაც დაიწყო ფოლადების გამოყენება მაღალი კოროზიის პირობებში. გერმანელი მეცნიერის ალფრედ ვილმის მიერ აღუშინ-სპილენძის შენადნობის ბუნებრივი დაძველების ეფექტის აღმოჩენით შეიქმნა მაღალი სიმტკიცისა და დაბალი სიმკვრივის მასალა – დურალუმინი (1906 წ.). მის ბაზაზე არნახული ტემპებით განვითარდა ლითონისკორპუსიანი ახალი თაობის საფრენი აპარატების წარმოება. უილიამ ევიდ კულიჯმა ფხვნილოვანი მასალისაგან მიიღო ვოლფრამის დრეკადი მავთული (1909 წ.), რამაც გამოიწვია ელნათურების სწრაფი გავრცელება და ფხვნილთა მეტალურგიის შექმნა. კამერლინგ ონესმა აღმოაჩინა ზეგამტარობის მოვლენა (1911 წ.), რითაც საფუძველი ჩაუყარა დაბალ- და მაღალტემპერატურულ ზეგამტარობას და მათ საფუძველზე ნაკეთობების დამზადებას. იან ჩოხრალსკიმ დაამუშავა დიდი ზომის ლითონის მონოკრისტალის მიღების მეთოდი (1918 წ.), რამაც განაპირობა შემდგომ ნახევრად გამტარი მასალების მრეწველობის განვითარება. პაულ მერიკამ დააპატენტა პირველი ზემხურვალმტკიცე შენადნობი (1926 წ.), რომლის ბაზაზე განხორციელდა აირტურბინული და რეაქტიული ძრავების შექმნის იდეა. ამჟამად ამ ტიპის ძრავებითაა აღჭურვილი ყველა სამხედრო და სამოქალაქო თვითმფრინავი. თანამედროვე აირტურბინული ძრავები ითვლება ძირითად ძალურ მოწყობილობად არა მარტო ავიაციაში, არამედ გემთმშენებლობაში, ენერგეტიკაში და ა.შ.

ნედლეული მასალების რესურსების შეზღუდულობისა და მასალებისადმი მკაცრი ტექნიკურ-ეკონომიკური მოთხოვნების გამო მასალათმცოდნეები გზადაგზა ახდენდნენ ტრადიციული მასალების ახალ ტექნოლოგიურ დონეზე გამოყენებას. ნაკეთობის ხარისხის გასაუმჯობესებლად XX საუკუნეში დიდი წარმატებით გამოიყენებოდა მათი თერმული, ქიმიურ-თერმული და თერმომექანიკური დამუშავებები, დიფუზური მეტალიზაცია, ნაკეთობის ზედაპირის ელექტროქიმიური დაფარვა და სხვ.

პარალელურად გრძელდებოდა მექანიკური მახასიათებლების უფრო მაღალი მნიშვნელობებისა და სამუშაო გარემოს ზემოქმედებისადმი მაღალი მედეგობის ან კიდევ სხვა მოთხოვნილი სპეციალური და განსაკუთრებული თვისებების მქონე ახალი მასალების მოძიება. მეცნიერული კვლევების შედეგად ტრადიციული მასალებისა და უფრო მტკიცე გამაძლიერებელი ელემენტების ურთიერთშეხამების ბაზაზე დამუშავდა მასალების ახალი ჯგუფი – კომპოზიციური მასალები. თანამედროვე მანქანა-დანადგარებისა და მოწყობილობების ხარისხისა და საიმედოობის ასამაღლებლად წარმოებაში ფართოდ გამოიყენება სპეციალური ლითონური, კომპოზიციური და ფხვნილოვანი მასალები.

ლითონმცოდნეების ყველა დიდი მიღწევის ჩამოთვლა პრაქტიკულად შეუძლებელია, მაგრამ არ შეიძლება არ აღინიშნოს ზოგიერთი მათგანი: არნე ოლანდერმა აღმოაჩინა შენადნობის ფორმის მექსიერების ეფექტი და მისი გამოყენების შესაძლებლობა მედიცინასა და ტექნიკის მრავალ დარგში (1932 წ.); ვილჰელმ კნოლმა დაამუშავა ტიტანის მიღების ეკონომიკურად გამართლებული მეთოდი (1940 წ.), რამაც უზრუნველყო ტიტანის ბაზაზე ნაკეთობების დამზადება თვითმფრინავის ფიზიკალური და წყვეტილი კოროზიამედეგი რეაქტორების კორპუსებით დამთავრებული; ჯონ ბარდინ-

მა, უოლტერ ბრატეინმა და უილიამ შოკლიმ შექმნეს პირველი ტრანზისტორი – მიკროელექტრონიკის მთავარი ელემენტი (1948 წ.); ბილ პფანის მიერ შემუშავებული ზონური დნობით ლითონების გაწმენდის მეთოდი (1951 წ.) ამჟამად გამოიყენება ზესუფთა მასალების (მაგალითად, ნახევრად გამტარების) მისაღებად. შვედი მეცნიერების ჯგუფმა მიიღო პირველი ხელოვნური ალმასები (1953 წ.), რითაც საფუძველი ჩაეყარა მაღალი სიზუსტის დეტალების წარმოებას. ფრანკ ვერ-შნაიდერმა მიმართული კრისტალიზაციის მეთოდით დაამზადა უზარმაზარი სვეტოვანი კრისტალებისაგან შედგენილი ტურბინის ფრთები (1958 წ.). ამოცანის ამ რევოლუციურმა გადაწყვეტამ საშუალება მისცა კონსტრუქტორებს აეწიათ რეაქტიული ძრავების სამუშაო ტემპერატურა, რითაც უზრუნველყოფილ იქნა საწვავის მნიშვნელოვანი ეკონომია. კარლ სტრნატმა კოლეგებთან ერთად კობალტისა და იშვიათ მიწათა ელემენტების ბაზაზე შექმნა ზემოქმედებით მუდმივი მაგნიტები (1966 წ.); რობერტ კიორკ-უმცროსმა, რიჩარდ სმოლმა და ჰაროლდ კროტომ აღმოაჩინეს ნახშირბადის ალოტროპიული მოდიფიკაცია – სფეროსებრი კრისტალური გისოსი (1985 წ.), რომელიც 60 ატომისაგან შედგებოდა. მას ფულერენი უწოდეს. იოჰან ბედნორცმა და კარლ მიულერმა იტრიუმი-ბარიუმი-სპილენძი-ჟანგბადი სისტემის ფუძეზე შექმნეს მაღალტემპერატურული ზეგამტარული კერამიკა (1986 წ.), რაც ზეგამტარული მასალების ფართომასშტაბიანი გამოყენების საფუძველი გახდა; სუმიო იიშიმამ აღმოაჩინა ნახშირბადის ნანომილაკები (1991 წ.), რომლებიც ფოლადზე 100-ჯერ უფრო მტკიცე და 6-ჯერ უფრო მსუბუქია და სხვ.

ახალ შენადნობთა შედგენილობების შემუშავების პარალელურად ხდებოდა ლითონური მასალების შინაგანი აგებულების თავისებურებების კვლევის მეთოდებისა და საკვლევი აპარატურის გაუმჯობესება. მაგალითად, ჰენრი კლიფტონ სორბი ოპტიკურ მიკროსკოპს იყენებდა ფოლადის მიკროსტრუქტურის საკვლევადაც (1863 წ.). ადოლფ მარტენსმა ნაწრთობი ფოლადის კვლევისას აღმოაჩინა, რომ იგი განსხვავდებოდა ნაკლებად სალი ფოლადის სტრუქტურისაგან (1890 წ.). ამ დროიდან იწყება მიკროსკოპის გამოყენება კრისტალური სტრუქტურის შესასწავლად და სტრუქტურასა და თვისებებს შორის კავშირის დასადგენად; მაქს კნოლმა და ერნსტ რუსკამ ააგეს პირველი გამჭოლი ელექტრონული მიკროსკოპი (1933 წ.); კომპანია “Cambridge Instruments“-მა დაამზადა პირველი რასტრული მიკროსკოპი, რომელიც ნიმუშის ზედაპირების კვლევის უნარით ბევრად აღემატება სინათლის მიკროსკოპის შესაძლებლობას (1965 წ.); ჰენრიხ რორერმა და გერდ ბინინგმა შექმნეს გვირაბული მასკანირებელი (გამშლელი) მიკროსკოპი და უზრუნველყვეს ზედაპირის სტრუქტურის ატომური სიზუსტით განხილვა (1981 წ.). დონ ეიგლერმა გვირაბული მიკროსკოპის საშუალებით ქსენონის ატომებით დაწერა სიტყვა IBM, რითაც დაამტკიცა ცალკეული ატომების მანიპულირებისა და ნანოსტრუქტურების შექმნის შესაძლებლობა.

მასალათმცოდნეობის, როგორც მეცნიერების მიღწევების შეფასების ერთ-ერთ წყაროდ (XXI საუკუნემდე) შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ამერიკელი ჟურნალის “Journal of Minerals, Metals and Materials Society” რედაქციის მიერ მკითხველთა დახმარებით შედგენილი სია ასი ყველაზე უფრო მნიშვნელოვანი მოვლენისა და ადამიანისა, რომლებმაც გარდამტეხი გავლენა მოახდინეს კონსტრუქციული და სპეციალური მასალების მეცნიერებაზე. სია იწყება ჩვენს ერამდე 28 ათასი წლით ადრე დათარიღებული ცხოველებისა და ადამიანების უძველესი გამოძვარი კერამიკული ფიგურებით და მთავრდება 1991 წელს ელი იაბლონოვიჩის მიერ დამზადებული ფოტონური კრისტალით, რომელსაც განსაზღვრული სიგრძის სინათლის სხივის შეჩერების უნარი აქვს. ამ აღმოჩენით საფუძველი ჩაეყარა ფოტონის ტრანზისტორების დამზადებას. ნიშანდობლივია ის ფაქტიც, რომ ჩამონათვალადან 40 %-ზე მეტი მიძღვნილია უშუალოდ ლითონური მასალებისადმი. როგორც აღინიშნა, თანამედროვე მასალათმცოდნეობის განვითარების ტენდენციები და პერსპექტივა ფიზიკის, ქიმიის, მექანიკა-მათემატიკის, მასალათგამძლეობის, ინფორმატიკისა და სხვა მეცნიერებების ფუნდამენტურ საფუძვლებთანაა დაკავშირებული. ამ კუთხით საინტერესოა ამ ჩამონათვალში წარმოდგენილი რიჩარდ ფეიმანის გამოსვლა ამერიკელ ფიზიკოსთა საზოგადოების წინაშე ცნობილი მოხსენებით „იქ, ქვევით მრავალი თავისუფალი ადგილია“ (1959 წ.), რითაც მან ფაქტობრივად შემოიტანა ნანოტექნოლოგიის კონცეფცია. შეიქმნა მასალათმცოდნეობის ახალი მიმართულება და გაჩნდა მასალების თვისებების ნახტომისებრი ცვლილების შესაძლებლობები.

ისტორიულად დადასტურებულია, რომ ტექნიკური პროგრესი შეუძლებელია ახალი თვისებების მქონე მასალების შექმნის გარეშე. თანამედროვე მასალათმცოდნეობის მიღწევები

მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს საზოგადოების ტექნიკური, ტექნოლოგიური და სამეცნიერო განვითარების დონეზე. 2008 წლის იანვარში ჟურნალი Materials Today-ის ერთ-ერთი რედაქტორი ჯ. ვუდი აქვეყნებს იმ 10 მოვლენის სიას, რომლებმაც უკანასკნელი 50 წლის განმავლობაში განსაზღვრა დღევანდელი მასალათმცოდნეობის განვითარების მაღალი დინამიკა. ესენია:

1. „საერთაშორისო რუკა ნახევრად გამტარებისათვის“ (International Technology Roadmap for Semiconductors – ITRS), რომელიც მეცნიერული აღმოჩენა კი არ იყო, არამედ მეცნიერების, ტექნოლოგიისა და ეკონომიკის ერთიანი ბაზის ანალიზური მიმოხილვა. მასში ასახულია 1994 – 2007 წლებში მისაღწევი მიზნები და ამ მიზნებისაკენ მიმავალი საუკეთესო გზები;

2. მასკანირებელი გვირაბული მიკროსკოპია (1981 წ.). ამ გამოგონებამ ბიძგი მისცა ნანოკვლევებსა და ნანოტექნოლოგიებს;

3. მრავალშრიანი მაგნიტური და არამაგნიტური მასალების სტრუქტურაში გამოვლენილი გიგანტური მაგნიტური წინაღობის ეფექტი (1988 წ.). მის საფუძველზე შექმნილია ამოკითხავი თავები ხისტი დისკებისათვის, რომლებითაც ამჟამად აღჭურვილია ყველა პერსონალური კომპიუტერი;

4. ნახევრად გამტარი ლაზერები და შუქდიოდები GaAs-ის შენადნობზე (1962 წ.). ტელე-საკომუნიკაციო სისტემების, CD და DVD პლევრებისა და ლაზერული პრინტერების ძირითადი კომპონენტები;

5. 2000 წელს საქმის ცოდნით ორგანიზებული ღონისძიება მასირებული პერსპექტიული სამეცნიერო კვლევებისა, ე.წ. „აშშ-ის ეროვნული ნანოტექნოლოგიური ინიციატივა“ – National Nanotechnology Initiative (ბილ კლინტონი და დოქტორი როკო). ნანოკვლევების მსოფლიო საერთო დაფინანსების მოცულობამ 2007 წელს 12 მლრდ აშშ დოლარს გადააჭარბა და შესაბამისი სამეცნიერო პროგრამები ამოქმედდა მსოფლიოს 60 ქვეყანაში;

6. ნახშირბადის ბოჭკოებით არმირებული პლასტმასები. მსუბუქი და მტკიცე კომპოზიციური მასალები, რომლებმაც გარდაქმნა ტექნიკის მრავალი დარგი: ავიამშენებლობა, კოსმოსური ტექნოლოგიები, ტრანსპორტი, სპორტული აღჭურვილობის წარმოება, შესაფუთი მასალები და სხვ.;

7. მასალები ელექტროტევადი ლითიუმის იონური ბატარებისათვის (კათოდი –  $\text{LiCoO}_2$  ან  $\text{LiFeO}_4$ , ანოდი – ნახშირბადი, Sony, 1991 წ.), რამაც გამოიწვია საზოგადოებრივი „მობილური რევოლუცია“ (ნოუთბუქები, მობილური ტელეფონები, ციფრული ფოტოაპარატები, ვიდეოკამერები და ელექტრომობილები);

8. ნახშირბადის ნანომილაკები (1991 წ.). მათ აღმოჩენას წინ უძღოდა ფულერენების ( $\text{C}_{60}$ ) არანაკლებ სენსაციური აღმოჩენა (1985 წ.). ამჟამად ნახშირბადის ნანოსტრუქტურების საოცარი, უნიკალური და დიდი იმედის მომცემი თვისებები ყველაზე „ცხელი“ პუბლიკაციების ცენტრშია, მაგრამ ჯერ კიდევ გადასაწყვეტია ერთგვაროვანი თვისებების მქონე ნანომილაკების მასობრივი სინთეზის, გაწმენდის მეთოდებისა და მათი ნანოხელსაწყოებში ჩართვის ტექნოლოგიების საკითხები;

9. მასალები რბილი ბეჭდური ლითოგრაფიისათვის. დღეს ლითოგრაფიულ პროცესებს ცენტრალური ადგილი უკავია მიკროელექტრონული ხელსაწყოებისა და სქემების წარმოებაში, დამსხმებელ არეებში და სხვა ნაკეთობებში. ახლო მომავლისათვის მათი ალტერნატივა არ ჩანს. რბილი ბეჭდური ლითოგრაფია იყენებს პოლიდიმეთილოქსისილანის დრეკად მრავალჯერად შტამპს. ამჟამად მიღწეულია 30 ნმ გარჩევის მკაფიოობა ბრტყელ, მოღუნულ და მოქნილ ქვესადებებზე;

10. მეტამასალები (მეცნიერების გამონაგონი, რომელსაც ბუნებაში ანალოგი არ აქვს). რეალური სტრუქტურები შეიქმნა 2000 წელს. იგი პერსპექტიული მასალაა სრულყოფილი ლინზების (რადიოსალკაციო ტალღების სიგრძის დიაპაზონი) დასამზადებლად და ისეთი დანაფარის ფორმირებისათვის, რომელიც მთლიანად შთანთქავს გარკვეული დიაპაზონის ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას (უჩინარი ობიექტის შექმნა). სხვა მიზნებით მისი გამოყენება მომავლის საქმეა.

ახალი, განსაკუთრებული თვისებების მქონე მასალების შექმნასთან ერთად იხვეწება მათი კვლევის მეთოდებიც. ამჟამად მასალათმცოდნეობის კვლევის მეთოდებია: ელექტრული, მაგნიტური, რენტგენოსტრუქტურული, დილატომეტრიული და მეტალოგრაფიული ანალიზები, სინათლისა და ელექტრონული მიკროსკოპია, ბირთვული მაგნიტური რეზონანსი, თერმოგრაფია და სხვა ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები, ხოლო კვლევის ძირითადი პრიორიტეტული მიმართულებებია:

**ნანოტექნოლოგია** – რამდენიმე ნანომეტრის ზომის მასალისა და მათ ბაზაზე კონსტრუქციების შემუშავება და შესწავლა;

**კრისტალოგრაფია** – კრისტალების ფიზიკური მდგომარეობის კვლევა, რომელიც აერთიანებს:

1. კრისტალებში დეფექტებისა და უცხო მინარევების გამოვლენას და მასალის ძირითად თვისებებზე მათ გავლენას;

2. დიფრაქციულ ტექნოლოგიებს – რენტგენოსტრუქტურულ ანალიზს, რომელიც გამოიყენება ნივთიერების ფაზური მდგომარეობის შესასწავლად;

**ლითონთმცოდნეობა** – ლითონური მასალების თვისებების შესწავლა;

**კერამიკა** – მოიცავს ელექტრონიკისათვის მასალების კვლევა-ძიებას, კომპოზიციურ მასალებს და სხვ.;

**ბიომასალები** – ადამიანის სხეულში იმპლანტანტებად გამოსადეგი მასალების კვლევა.

ნებისმიერი კონსტრუქციის დაპროექტებისას მკვლევრებისა და კონსტრუქტორების მიზანია: ნაკლები დანახარჯებით არსებული ანალოგის (ან ახლის) ხარისხისა და ეფექტურობის გაუმჯობესება; მუშა წნევების, სიჩქარის, ტემპერატურის თუ სხვა პარამეტრების გაზრდა ისე, რომ ერთეულ დატვირთვაზე (სიმძლავრეზე) მოხდეს მასალის მასის შემცირება.

მანქანათმშენებლობის (და მრავალი სხვა დარგის) ტენდენცია – შეამციროს ნაკეთობის ეფექტური მასა, განაპირობებს ისეთი მასალების დამუშავების აუცილებლობას, რომლებშიც მაღალი სიმტკიცე შესამებული იქნება დაბალ სიმკვრივესთან (იგულისხმება ლითონური და კომპოზიციური მასალები).

რეალურ პირობებში მოცემული კონსტრუქციისათვის სხვადასხვა მასალისაგან სასურველის შერჩევისას ითვალისწინებენ მასალების მექანიკური, კოროზიული, სითბური და სხვა თვისებების მახასიათებლების პარამეტრებს. მათი ურთიერთშედარება და კონსტრუქციის მუშაობის პირობების გათვალისწინება ამარტივებს მასალების ობიექტური შერჩევის შესაძლებლობას.

თანამედროვე სამრეწველო დარგების განვითარებამ ცხადყო, რომ ძირითადი ტექნიკური მოთხოვნების გადასაჭრელად საკმარისი არ არის მხოლოდ ახალი მასალების შერჩევა. აუცილებელია მათი დაცვა სამუშაო გარემო პირობების (ტემპერატურა, კოროზიული გარემო, ულტრაიისფერი გამოსხივება, კლიმატური ფაქტორები) ზემოქმედებისაგან. გარემოს აგრესიულობის ზრდა იწვევს ზედმეტ დანახარჯებს მანქანა-მოწყობილობებში ცვეთის პროდუქტების ლიკვიდაციაზე. მასალების თვისებების სტაბილიზაციისათვის შესარჩევი დონისძიებებისა და მანქანა-მექანიზმების შრომისუნარიანობის პროგნოზირებისათვის აუცილებელია გარემოს ზეგავლენით გამოწვეული მასალების აგებულების კანონზომიერებების ცვლილების ცოდნა. დადგინდია, რომ დაცვის პროცესების ეფექტურობის დონე კონსტრუქციის საიმედოობის განსაზღვრის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ფაქტორია.

აშშ-ში წარმოებს კოროზიით გამოწვეული ლითონის დანაკარგების აღრიცხვა. მაგალითად, 2012 წელს კოროზიით გამოწვეულმა დანაკარგებმა ქვეყნის მასშტაბით 468 მლრდ აშშ დოლარი შეადგინა. მსოფლიო მასშტაბით რთულ ტექნიკურ სისტემებზე კლიმატის გავლენით კოროზიული და ბიოდაზიანებებით გამოწვეულმა ზარალმა 2,2 ტრილიონ აშშ დოლარს მიაღწია. აღნიშნული მონაცემები ადასტურებს, რომ მასალების თვისებების კვლევის მრავალრიცხოვან მეთოდებს აუცილებელია დაემატოს კვლევის კიდევ ერთი მიმართულება – კლიმატური გამოცდები. ასეთი კოლოსალური დანაკარგების თავიდან ასაცილებლად აუცილებელია დაიგეგმოს ახალი მასალის არა მარტო მუშაობის სფერო, არამედ მისი მთლიანი სასიცოცხლო გზა: მასალის შემუშავება → კონსტრუქციებში მისი გამოყენება → გარემო და კლიმატური პირობებისაგან დაცვა და რესურსის გახანგრძლივება → დიაგნოსტიკა → უტილიზაცია. ამ სქემით მუშაობისას მკაფიოდ ვლინდება მასალის თავისებურებები და მარტივდება მათი ანალიზი.

XX საუკუნეში ტექნიკის განვითარებას მნიშვნელოვანი ბიძგი მისცა და უდიდესი წვლილი შეიტანა ორგანული მასალათმცოდნეობის მიმართულებამაც. 1909 წელს ლეო ბეიკლანდის მიერ სინთეზირებულ იქნა მყარი თერმოპლასტიკური პოლიმერი – ბაკელიტი. აქედან დაიწყო პლასტიკატების ერა და გაჩნდა პლასტმასების მრეწველობა. 1920 წელს, მას შემდეგ, რაც ჰერმან სტაუდინგერმა ჩამოაყალიბა მოსაზრება, რომ პოლიმერები ერთმანეთთან კოვალენტურად დაკავშირებული გრძელი ჯაჭვის ერთი სახის რგოლებია, შეიქმნა პოლიმერების ქიმია... 1935 წელს უოლეს ჰიუმ კოროტესმა (კოლეგებთან ერთად) დააპატენტა ნეილონი, რამაც მნიშვნელოვნად შეამცირა მოთხოვნა აბრეშუმზე და უზრუნველყო პოლიმერების მრეწველობის დანქარებული განვითარება. 1964 წელს სტეფანია კოლექმა შეიმუშავა მაღალი სიმტკიცის, მსუბუქი პლასტიკი კველა-

რი. კველარის ბოჭკო აუცილებელი კომპონენტია თანამედროვე კომპოზიტებისათვის, რომელთაგანაც მზადდება უამრავი საგანი – საბურავებიდან დაწყებული ჯავშანქილებით დამთავრებული. 1970 წელს შეიქმნა ოპტიკური ბოჭკო (ბობ მაუერი და სხვ.), რომელიც უმცირესი დანაკარგით ატარებს სინათლის სხივს (რეკლუცია ტელეკომუნიკაციაში); 1977 წელს კი – ელექტროგამტარი პოლიმერები (ხიდაკი სირაკავა და სხვ.).

თანამედროვე მასალათმცოდნეობა, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, სულ უფრო მზარდ მნიშვნელობას იძენს ადამიანების ყოფაში. მას მუდამ გვერდში უდგას „პარტნიორი“ მეცნიერებები, რომელთა მიღწევების გათვალისწინებით ეს დარგი ფეხს უწყობს კაცობრიობას სიახლეთა ძიებაში. ტექნიკის სტრატეგია უწყვეტია: მასალა → ტექნოლოგია → კონსტრუქცია. ზოგადად, ქვეყნის ტექნიკური განვითარების სტრატეგიის შემუშავებისას აუცილებელია მკაფიო, მასალათმცოდნეობის მიღწევებზე დაყრდნობით შედგენილი და აწონილ-დაწონილი მეცნიერულ-ტექნოლოგიური პროგნოზის გაკეთება.

XX საუკუნეში ახალი მასალების შექმნას მნიშვნელოვანი ბიძგი მისცა სამხედრო და სარაკეტო-კოსმოსური ტექნიკის მოთხოვნებმა. პრაქტიკამ დაადასტურა, რომ ამ დარგებისათვის შემუშავებული მასალები თანდათან გადადის სამოქალაქო სექტორში. ასეთი გამოცდილებიდან გამომდინარე, გრძელვადიანი პერსპექტივით სარეალიზაციო ყველა დიდი პროექტი დასახული გეგმის განსახორციელებლად უნდა ითვალისწინებდეს ახალი მასალების შესაქმნელად კვლევების ჩატარების მატერიალურ-ტექნიკურ და ფინანსურ უზრუნველყოფას.

მეცნიერების განვითარების დონე და ყოველი ახალი საინჟინრო-ტექნიკური გადაწყვეტა საწყის ნედლეულ მასალებს განსხვავებულ ტექნიკურ-ეკონომიკურ მოთხოვნებს უყენებს, რის შედეგადაც იცვლება ტრადიციული მასალები და ნაკეთობების დამზადების მეთოდები. ასპარეზზე გამოდის ახალი, უფრო პროგრესული ტექნოლოგიები და შესაბამისი სპეციალური, ხშირად პრეციზიული თვისებების მქონე საწყისი მასალები. ინფორმაციის, მონაცემთა დამუშავებისა და ხელვანური ინტელექტის მიმართულებებით მეცნიერების განვითარების მაღალმა დონემ XX საუკუნის ბოლოს მასალათმცოდნეებს საშუალება მისცა დაემზადებინათ რეალური სამგანზომილებიანი ობიექტები კომპიუტერული მოდელის მონაცემების აღწარმოებით.

ამჟამად მთელ მსოფლიოში დაჩქარებული ტემპებით მიმდინარეობს საწარმოებში SLM (Selective laser melting) ტექნოლოგიების დამუშავება-დანერგვა. გამორჩეულობის მიზნით კომპანიები ტერმინებით მანიპულირებდნენ. ხდებოდა მსგავსი ტექნოლოგიების სრულყოფა და დაპატენტება სხვადასხვა დასახელებებით (Laser CUSING, DMLS, SLS და სხვ.). ბაზარზე კომპანიების გამორჩევის სურვილმა საქმე იქამდე მიიყვანა, რომ, პრაქტიკულად, წარმოების ერთი და იგივე ხერხი სხვადასხვა დასახელებას ატარებს. ამ გაურკვევლობის თავიდან ასაცილებლად 2012 წელს „მასალების გამოცდის ამერიკულმა საზოგადოებამ“ ყველა ტექნოლოგია გააერთიანა ერთ კატეგორიად.

SLM ტექნოლოგია არის დეტალის კომპიუტერული მოდელის 3D ფორმატში აღწარმოების ერთ-ერთი ხერხი. იგი საშუალებას იძლევა შეიქმნას რთული გეომეტრიული ფორმის, ხშირად თხელკედლიანი და ღრუტანიანი ლითონის ნაკეთობები. ამჟამად მზა ნაწარმის ხარისხი იმდენად მაღალია, რომ მათი მექანიკური დამუშავება საჭირო აღარ არის. ნაკეთობის აღბეჭდვის პროცესი ინერტული აირებით შევსებულ სამუშაო კამერაში მიმდინარეობს, რითაც გამოირიცხება სახარჯო მასალების ჟანგვა. ამდენად, SLM ტექნოლოგია პრაქტიკულად უნარჩუნო წარმოებაა. პოპულარული მასალები SLM ტექნოლოგიებისათვის არის ფხვნილოვანი ლითონები და შენადნობები, მათ შორის: უჟანგავი, საიარალო და სხვა მაღალღებური ფოლადები, ტიტანი და მისი შენადნობები, ალუმინი და მისი შენადნობები და სხვ.

აღსანიშნავია, რომ ზოგიერთ სფეროში SLM ტექნოლოგიის გამოყენებისათვის ზემოაღნიშნული სიმკვრივის ნაწილაკებია საჭირო. მათი ფორიანობა 1 %-ზე ნაკლები უნდა იყოს. ნებისმიერი ფორი და სიცარიელე ნაკეთობის დეფორმაციის წყარო და, შესაბამისად, მისი სუსტი რგოლია. ამდენად, ახალი ტექნოლოგია ახალ მაღალ მოთხოვნებს უყენებს ლითონის ფხვნილებსაც. აქედან გამომდინარე, დღის წესრიგში დადგა ფხვნილთა მეტალურგიის ახალი ტექნოლოგიის შესაბამის დონეზე განვითარების საკითხიც.

შერჩევითი ლაზერული დნობა ადიტიური წარმოების პროცესია. სამგანზომილებიანი მოდელის შესაქმნელად მძლავრი ლაზერის (200 – 1000 ვტ) სხივის გამოყენებით ლითონის ფხვნილის



ნაწილაკები ერთმანეთს „მიედნობა“ და თანდათან ხდება სასურველი დეტალის მიღება. მკვლევრებმა საკვანძო პარამეტრების – ლაზერის სიმძლავრის, ლაზერის სიჩქარის, ლაზერული სკანირების ხაზებს შორის მანძილების ცვლილებით, სკანირების ხერხის (ნაწილებად დაყოფის) და ფხვნილოვანი შრის სისქის ცვლილებით შეძლეს უმეტესი ლითონური მასალისაგან ბევრი დეტალის დამზადება.

3D აღბეჭდვა ცნობილია აგრეთვე, როგორც კომპიუტერული მოდელირება ან ალტერნატიული კონსტრუირება. ამ პროცესს ზოგჯერ სწრაფი მაკეტირების პროცესსაც უწოდებენ. 3D აღბეჭდვის პროცესის დასაწყისად ითვლება სამგანზომილებიანი ციფრული მოდელის დაყოფა 20 – 100 მკმ სისქის შრეებად. 3D პრინტერზე მიერთებულ კომპიუტერში იტვირთება სამგანზომილებიანი ფიზიკური მოდელის ასაგები შრეების „ნახაზები“ (მზა ფაილი) სტანდარტულ STL (სტერეო ლითოგრაფიულ) ფორმატში. 3D აღბეჭდვის საწარმოო ციკლის დასაწყისში 3D პრინტერის სპეციალურ პლატფორმაზე იყრება სასურველი სისქის საწყისი ლითონური ფხვნილი. ფხვნილის გასწორებისა და კომპიუტერიდან გადაცემული კოორდინატების შესაბამისად ლაზერით პირველი შრის გადნობის შემდეგ მიიღება დასამზადებელი გეომეტრიული ობიექტის „პირველი სართული“. შემდეგ კომპიუტერიდან ნაკარნახები ყოველი შემდეგი შრის ნახაზის შესაბამისად 3D პრინტერი ადნობს ფხვნილის შემდეგ შრეს ჰომოგენურ მასამდე და წინა შრეზე შედნობით თანდათან იმეორებს ციფრული მოდელის შრეების კონტურს. საბოლოოდ კი ყალიბდება რეალური სამგანზომილებიანი ობიექტი (ნახ. 1). განუსაზღვრელია 3D აღბეჭდვის შესაძლებლობები. მას სპეციალისტები მოკლედ ასე განსაზღვრავენ: „რასაც დახატავთ, იმას შექმნით“.



ნახ. 1. 3D აღბეჭდვით მიღებული სამგანზომილებიანი ნაკეთობა

მრავალგვარია 3D აღბეჭდვის პრაქტიკული გამოყენების სფერო. მათ შორის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მედიცინაა. SLM ტექნოლოგიის საშუალებით ერთ ობიექტში ჰომოგენური და ფორიანი სტრუქტურების კომბინირების შესაძლებლობა მნიშვნელოვანი გამოდგა იმპლანტანტების შექმნისას. დადგენილია, რომ ორთოპედიული იმპლანტანტის ფორიანი ზედაპირი ხელს უწყობს მის შეზრდას ძვლის ქსოვილთან. 3D აღბეჭდვის გამოყენებით ქირურგებმა შეძლეს ადამიანის სხეულის ნაწილების მაკეტის კონსტრუირება. რეგენერაციულ მედიცინაში სპეციალიზებულმა კომპანია Organovo, Inc-მა 2010 წელს განაცხადი გააკეთა სისხლძარღვების ბიოაღბეჭდვის შესახებ... აღსანიშნავია, რომ 3D აღბეჭდვის გამოყენების სფერო ძალზე ფართოა. მას იყენებენ როგორც ფერადი ბეჭდვისათვის (2005 წ.), ისე შოკოლადისა (2011 წ.) და სხვ. დასამზადებლად.

ამჟამად მრეწველობის თითქმის ყველა დარგი (ავიაკოსმოსიდან დაწყებული ბავშვების სათამაშოების დამზადებით დამთავრებული) იყენებს 3D პრინტერს. ყოველდღიურად მატულობს ლითონური მასალების 3D აღბეჭდვის სამრეწველო პროდუქცია.

ლაბორატორიულ პირობებში 3D აღბეჭდვის გამოყენებით ლითონისაგან პირველი დეტალი აღბეჭდა 1989 წელს. საწარმოებში SLM ტექნოლოგიის ფართოდ დაწერვისა და მასშტაბების საილუსტრაციოდ განვიხილოთ რამდენიმე მაგალითი: 1. კომპანია Alcoa, პირველადი ალუმინის და მზა ალუმინის ნაკეთობების წამყვანი საერთაშორისო მწარმოებელი, 2014 წლის ნოემბერში აცხადებს, რომ გეგმავს სამგანზომილებიანი აღბეჭდვის დაწერვასა და გამოყენებას რეაქტიული ძრავების საკომპლექტებელი და სხვა პროდუქტების წარმოებაში; 2. მსოფლიოში რეაქტიული ძრავების ყველაზე მსხვილი მიმწოდებელი კომპანია General Electric (GE) იყენებს ლაზერულ აღბეჭდვას ისეთი საკომპლექტებელი დეტალების დასამზადებლად, რომელთა შექმნაც შეუძლებელი იყო სტანდარტული ტექნოლოგიებით. კომპანიამ გაიღო 50-მილიონიანი ინვესტიცია ახალი საწარმოო ფართობის შესაქმნელად. ქარხანა, რომლის გახსნაც მიმდინარე წელს იგეგმება, გამოუშვებს საწვავის ფრეკვანებს ახალი თაობის ტურბოვენტილატორული რეაქტიული ძრავებისათვის (LEAP) და სამგზავრო Boeing 777X თვითმფრინავებისათვის განკუთვნილი ყველაზე მძლავრი რეაქტიული ძრავების GE9X საკომპლექტებელ ნაწილებს.

აღსანიშნავია ის ფაქტიც, რომ GE ტურბინების მსუბუქი ფრთებისათვის გეგმავს 3D აღბეჭდვის რევოლუციური პროცესის – იტალიური აეროკოსმოსური კომპანია Avio-სა და შვედური კომპანია Arcam-ის ერთობლივად დამუშავებული მეთოდის – დნობა ელექტრონული სხივით (EBM – electron beam melting) გამოყენებას. ამ პროცესში ლითონის ფხვნილის გასადნობად ლაზერის ნაცვლად გამოიყენება ელექტრონების კონა.

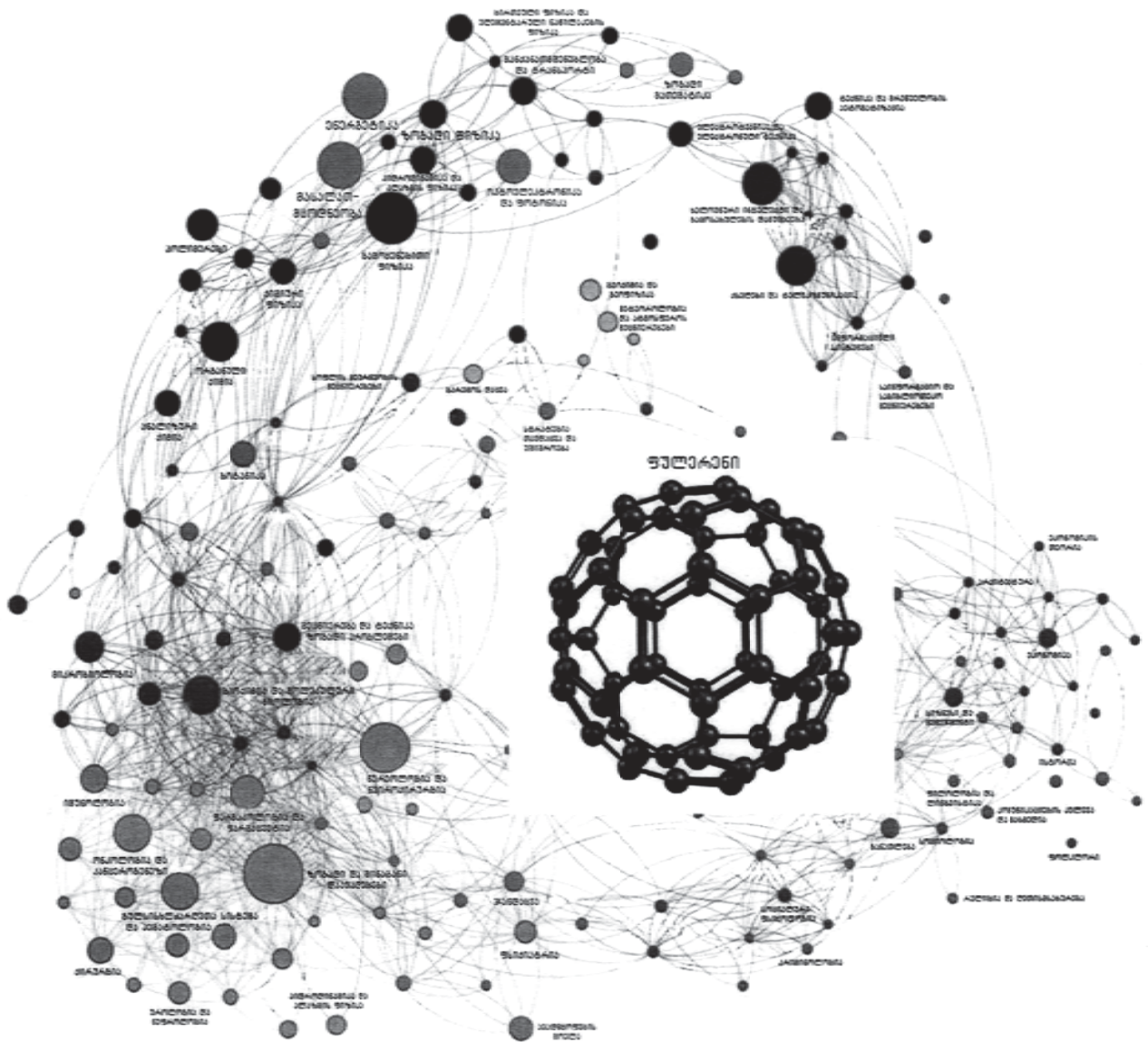
რა გზით განვითარდება მასალათმცოდნეობა მომავალში?

მიუხედავად იმისა, რომ არც ერთ მეცნიერს არ შეუძლია იწინასწარმეტყველოს, თუ რისი აღმოჩენა მოხდება უახლოეს მომავალში, სამეცნიერო პროგნოზირებას მაინც აქვს არსებობის უფლება. მას შეუძლია შეგვახედოს მომავალში, რაც აქამდე მხატვრული ფანტასტიკის პერეოგაცია იყო. უნდა ვივარაუდოთ, რომ კომპიუტერული მოდელირებით და დახვეწილი ექსპერიმენტებით შესაძლებელია ეფექტურად განისაზღვროს ლითონური ნაკეთობების ტექნოლოგიური პარამეტრები და ფართოდ დაინერგოს მრეწველობაში ნანომეტრული ფხვნილებისაგან დეტალების დამზადების SLM მეთოდი. არ უნდა დავივიწყოთ, რომ ნანომეტრული მასალები მრავალ უნიკალურ თვისებასთან ერთად ერთ ისეთ თვისებასაც ავლენს, რომელიც მასალათმცოდნეობას განვითარების ფართო პერსპექტივას უსახავს. დადგენილია, რომ ნანომეტრული მასალების თვისებები დამოკიდებულია ნანომეტრული ნაწილაკების გეომეტრიულ ზომაზე. თანამედროვე მეცნიერთა ერთობლივი აღიარებით, უახლოეს მომავალში ნანომეტრული ტექნოლოგიები ადამიანის საქმიანობის თითქმის ყველა სფეროში (მედიცინა, ბიოლოგია, გენეტიკა, ენერგეტიკა და მრავალი სხვა) შეადწევს და რადიკალურ გავლენას მოახდენს სამეცნიერო-ტექნიკურ პროგრესზე.

ამჟამად ამა თუ იმ დარგის განვითარების პერსპექტივის შესწავლა და ცოდნის სფეროში სხვადასხვა ქვეყნის მეცნიერების განვითარების დონის შედარება ხდება ინფორმაციით. იგი მოიცავს კიბერმეტრიას, ვებმეტრიასა და მეცნიერებათმზომელობას. მეცნიერებათმზომელობის მიზანია: მეცნიერული მიმართულების განვითარების ობიექტური სურათის წარმოდგენა; მისი აქტუალურობის, პოტენციური შესაძლებლობების შეფასება, ინფორმაციული ნაკადების ფორმირება, კანონებისა და სამეცნიერო იდეების გავრცელება. მეცნიერებათმზომელოური კვლევების და მათი შედეგების შედარების საბაზო ობიექტი ციტირების ინდექსია (სამწუხაროდ, ახალი მასალებისადმი მიძღვნილი სამეცნიერო პუბლიკაციების მნიშვნელოვანი ნაწილი არ ხვდება ფართო სამეცნიერო საზოგადოების მხედველობის არეში. მაგალითად, აშშ-ში მეცნიერებასა და ტექნოლოგიებზე გაწეული ყველა ხარჯის 50%-მდე მოდის სამხედრო სფეროზე)...

მეცნიერებათმზომელოური კვლევებით დადგინდა, რომ სამრეწველო თვალსაზრისით, განვითარებულ ქვეყნებში ახალი მასალების შემუშავება და, შესაბამისად, მასალათმცოდნეობა, როგორც მეცნიერება, მუდმივად იმყოფება მეცნიერების განვითარების პრიორიტეტულ ველში. მსოფლიო სარეიტინგო სისტემის 2010 წლის მონაცემებით, განვითარებულ ქვეყნებში ცოდნის ეს სფერო საინფორმაციო (კომპიუტერულ) ტექნოლოგიებთან და ბიოტექნოლოგიებთან ერთად ითვლება პრიორი-

ტეტულ მიმართულება. დღეს ჩინეთში მასალათმცოდნეობა ფუნდამენტურ მეცნიერებათა სამეცნიერო პუბლიკაციების მიხედვით (რომლებიც პირდაპირ გადის ეკონომიკაზე) პირველ ადგილზეა. Scopus-ის მონაცემთა ბაზის (რომელიც სამეცნიერო თანამეგობრობის მიერ აღიარებული 18 ათასზე მეტი ჟურნალის ინდექსაციას ახდენს) საფუძველზე, კომპანია Science-Matrix-ის 2011 – 2012 წლების მეცნიერებათმზომელო კვლევების (გამოქვეყნებული სამეცნიერო სტატიების, ციტირების ინდექსების და ა.შ. სტატისტიკური დამუშავებით) შედეგად შედგენილი მსოფლიო მეცნიერების რუკა (ნახ. 2) ნათლად ასახავს პლანეტის მეცნიერებების განვითარებას თანამედროვე ეტაპზე. რუკა წარმოდგენილია გამარტივებული სახით და მასზე დამატებულია ფულერენის გამოსახულება.



ნახ. 2. მსოფლიო მეცნიერებების რუკა

Science-Matrix-ის მონაცემებით, მსოფლიო მეცნიერებების რუკაზე ნათლად არის გამოკვეთილი ოთხი დიდი კლასტერი:

- ყველზე დიდი კვლევები მედიცინასა და ბიოლოგიაში განთავსებულია ქვევით, მარცხნივ;
- ფიზიკა, ქიმია და მეცნიერება მასალების შესახებ – ზევით, მარცხნივ;

- სწრაფად მზარდი მეცნიერებები ინფორმაციის, მონაცემთა დამუშავებისა და ხელოვნური ინტელექტის შესახებ – ზევით, მარჯვნივ;
- სოციალური და ჰუმანიტარული მეცნიერებები, რომელთა გამაერთიანებელი ცენტრია კვლევები განათლების სფეროში – ქვევით, მარჯვნივ.

## დასკვნა

სპეციალისტები, ალბათ, ვერასოდეს გაავლებენ ზღვარს თანამედროვე მეცნიერებისა და ტექნიკის განვითარების დონეებს შორის. ის, რაც გუშინ ოცნებისა და ფანტაზიის სფეროდ გვეჩვენებოდა, დღეს ხელშესახები რეალობაა. მკვლევრებმა წარმოების სხვადასხვა მეთოდით მიიღეს უნიკალური თვისებების მქონე მასალები. დამუშავებულია მზის ელემენტები თვითგაცივების ეფექტით. მიღებულია აგრეთვე ფულერენები (1985 წ.) და გრაფენი – ნახშირბადის ორგანზომილებიანი ალოტროპიული მოდიფიკაცია (2004 წ.), რომელსაც ახასიათებს დიდი მექანიკური სიხისტე, რეკორდულად მაღალი თბოგამტარობა და ცნობილ მასალებს შორის ელექტრონების მაქსიმალური ძვრადობა. იგი მიიჩნევა მომავალი ნანოელექტრონიკის საფუძვლად. 3D აღბეჭდვის საშუალებით მიღებულია ისეთი ზეხისტი მასალები, რომლებსაც საკუთარ მასაზე 160000-ჯერ მეტი ტვირთის ატანა შეუძლია. 3D აღბეჭდვისას გამყარების პროცესის მიკროსკოპულ დონეზე რეგულირებით მიღწეულია მიკროსტრუქტურის (კრისტალოგრაფიული აღნაგობის) მართვის შესაძლებლობა (Oak Ridge National Laboratory, 2014 წ.). თანამედროვე გამომთვლელი სისტემების შექმნა ეყრდნობა ახალი თაობის ნახევრად გამტარ და სხვა მასალებს... მეცნიერების მიღწევების წარმოებაში ფართოდ დანერგვის პრაქტიკამ მიგვიყვანა თანამედროვე კომპიუტერულ სისტემამდე, ინტერნეტამდე და ძნელია იმის პროგნოზირება, თუ რა იქნება ხვალ... როგორი იქნება სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესის შემდეგი საფეხური. მაგრამ ერთ საკითხში ყველა მეცნიერი და პრაქტიკოსი თანხმდება – ნებისმიერ ტექნიკურ გადაწყვეტას შესაბამისი მასალა ესაჭიროება და, სასურველია, ტექნიკის განვითარების იდეასთან ერთად საჭირო თვისებების მქონე მასალების შექმნამაც არ დააყოვნოს.

## ლიტერატურა—REFERENCES—ЛИТЕРАТУРА

1. [material.osngrad.info/node/24](http://material.osngrad.info/node/24)
2. [www.modificator.ru/terms/material.html](http://www.modificator.ru/terms/material.html)
3. [automaterial.ru/?page\\_id=4](http://automaterial.ru/?page_id=4)
4. <http://inauka.ru/scaince/article70366>
5. [www.chemistry.ssu.samara.ru/chem1/fullerene.htm](http://www.chemistry.ssu.samara.ru/chem1/fullerene.htm)
6. [3dtoday.ru/wiki/SLM\\_print/](http://3dtoday.ru/wiki/SLM_print/)
7. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Графен>
8. [kubstu.ru/s-507](http://kubstu.ru/s-507)
9. [www.moluch.ru/information/index/](http://www.moluch.ru/information/index/)
10. [www.rusrep.ru/article/2013/10/29/map/](http://www.rusrep.ru/article/2013/10/29/map/)

### MATERIALS SCIENCE – THE ACCOMPANYING SCIENCE OF MANKIND DEVELOPMENT

**O. Shuradze**

(F. Tavadze Institute of Metallurgy and Materials Science)

**Resume:** The paper describes connected to the systemization and analysis the role of materials science during the different stages of historical developments of mankind and now, with the help of modern search databases. The analysis includes the main condition and reasons for creating new materials and their influence on development of technique and scientific-technical progress. The paper also includes the analysis of new SLM technology for creating 3D objects. Besides, there is described the history of creating the research methods of structure and properties of materials. Based on the analysis of papers published during 2011-2012, the world science map is presented. The priority directions for the development of science and possible development directions in materials science are also described in the presented paper.

**Key words:** materials science; metals science; ceramics; metal materials; polymer materials; SLM technology; 3D technology; 3D printer; 3D printing; imprint of three-dimensional object; computer modelling; nanoparticles; nanometric; technology; nanomaterials; citing index; scientometrics; bibliometrics; map of world science.

## МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

### МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ – НАУКА, СОПУТСТВУЮЩАЯ РАЗВИТИЮ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

**Шурадзе О. В.**

(Институт металлургии и материаловедения им. Ф. Тавадзе)

**Резюме:** В работе, на основе данных современных поисковых систем, систематизирована и проанализирована роль материаловедения в развитии человечества на различных исторических этапах и в современных условиях. Приведены причины, вызывающие необходимость создания новых материалов и их роль в развитии техники и научно-технического прогресса. Проанализированы новейшие SLM технологии изготовления трёхмерных объектов. Описана история создания методов исследований по структуре и свойствам материалов. Представлена и проанализирована карта мировой науки, созданная по трудам, опубликованным в 2011 – 2012 годы. Дан прогноз приоритетных направлений развития науки, и, в частности, материаловедения.

**Ключевые слова:** материаловедение; металловедение; керамика; металлические материалы; полимерные материалы; SLM технология; 3D технология; 3D принтер; 3D печать; отпечаток трёхмерного объекта; компьютерное моделирование; наночастицы; нанометрическая технология; наноматериалы; индекс цитирования; наукометрия; библиометрия; карта мировой науки.