

დავითი გელენიძე

სამთო ქანებისა და ტექნოლოგიური დანადგარების დეტალების
დასამუშავებელი მძლავრი, ენერგოდამზოგი და ეკოლოგიურად
უსაფრთხო პლაზმური დანადგარის დამუშავება

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
2011 წელი

საავტორო უფლება © 2011 წელი, გელენიძე დავითი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით გელენიძე დავითის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: “სამთო ქანებისა და ტექნოლოგიური დანადგარების დეტალების დასამუშავებელი მძლავრი, ენერგოდამზოგი და ეკოლოგიურად უსაფრთხო პლაზმური დანადგარის დამუშავება” და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი:

ხელმძღვანელი:

გურამ გოგია
სრული პროფესორი

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2011 წელი

ავტორი: გელენიძე დავითი

დასახელება: სამთო ქანებისა და ტექნოლოგიური დანადგარების
დეტალების დასამუშავებელი მძლავრი, ენერგოდამზოგი და
ეკოლოგიურად უსაფრთხო პლაზმური დანადგარის დამუშავება

ფაკულტეტი: სამთო-გეოლოგიური

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: თარიღი

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ
ზემოთმოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით
მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და
გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ
უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც
მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა
ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის
წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო
უფლებებით დაცული მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა
ის მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ
მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია
სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს
პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

სამთო საქმეში პლაზმური ტექნოლოგიის გამოყენების სპეციფიკურობის გამო (დიდი სიმძლავრეები, შეზღუდული გარემო, მუშაობის მძიმე პირობები და ა.შ.) პლაზმური ტექნოლოგიის გამოყენება აქამდე შეზღუდული იყო და პრაქტიკაში ნაკლებად გამოყენებული.

წარმოდგენილი სამუშაოს ძირითადი მიზანია სამთო საქმეში პლაზმური ტექნოლოგიების გამოყენების საფუძვლების შექმნა. ამ მიზნის განსახორციელებლად შესრულებულია შემდეგი სამუშაოები:

გამოვლენილია სამთო საქმეში პლაზმური ტექნოლოგიის გამოყენების პერსპექტიული არეები: პლაზმური ჭავლის გამოყენება მყარი ქანების მოსანგრევად; პლაზმური ჭავლის გამოყენება მყარი ქანებისაგან დამზადებული სამშენებლო მასალების მოსაპირკეთებლად; პლაზმური ბურღვა; სამთო მომპოვებელი ინდუსტრიის ნარჩენების გადამუშავება; ლითონების პლაზმური ჭრის, შეღუღების, დაფრქვევისა და დაღუღების გამოყენება სამთო ამწევი მანქანების, წყალსაქცევი, სავენტილაციო და ტექნოლოგიური დანადგარების წარმოებისა და მათი რემონტისათვის;

პლაზმურ დანადგარებში მიმდინარე ელექტროფიზიკური პროცესების ანალიზის საფუძველზე შედგენილია პლაზმური რკალის ფუნქციონირების ჩანაცვლების სქემა და ჩატარებულია მისი ელექტრომაგნიტური პროცესების ანალიზი მათემატიკის კლასიკური მეთოდების გამოყენებით. შექმნილია მისი ამონახსნების ალგორითმი და პროგრამა, რის საფუძველზეც დამუშავებულია სამთო საქმეში გამოყენებადი ორიგინალური პლაზმური ჭავლის ფორმირების ხერხები და პლაზმური დანადგარების კონსტრუქციები;

ელექტრომაგნიტური პროცესების ანალიზის საფუძველზე ჩამოყალიბებულია პლაზმური დანადგარის დენის წყაროს მიმართ წაყენებული ის კრიტერიუმები, რომლებიც განაპირობებენ პლაზმატრონის ეფექტურ მუშაობას. პლაზმატრონის ეფექტური მუშაობა შესაძლებელია კვების წყაროს დამრეცი სტატიკური ვოლტამპერული მახასიათებლის შემთხვევაში, როდესაც მახასიათებლის დახრის კუთხე უახლოვდება 90° -ს, ე. ი. კვების წყარო წარმოადგენს არა ძაბვის წყაროს, არამედ დენის წყაროს, ანუ როდესაც პლაზმური რკალის წინააღმდეგობის ცვლილებისას იცვლება ძაბვა და არა დენი და უქმი სვლის მაქსიმალური ძაბვა უნდა იყოს მხოლოდ 10-15%-ით მეტი, ვიდრე მაქსიმალური მუშა ძაბვა, ე. ი. კვების წყაროს ვოლტამპერულ მახასიათებელს უნდა ჰქონდეს მართკუთხედის ფორმა, ანუ კვების წყარო უნდა იყოს დენის წყარო მუშა და მოკლედ შერთვის რეჟიმში და ძაბვის წყარო-უქმი სვლის რეჟიმში;

ექსპერიმენტული მონაცემებისა და თეორიული გამოთვლების საფუძველზე ჩატარებულია პლაზმატრონის ანოდის სხვადასხვა მეთოდებით გაცივების პროცესის შედარებითი ანალიზი. წყლით და ჰაერით კონვექციური გაცივება შედარებულია წყლის დუღილით

გამოწვეულ გაცივების პროცესთან. დადგენილია, რომ წყლის დუღილით ელექტროდების გაცივება წყლით კონვექციური გაცივების თანაბარია.

აგრეთვე ჩატარებულია მყარი ქანის ზედაპირზე პლაზმური აღის ზემოქმედების თბური პროცესების ანალიზი. ქანში ტემპერატურის გავრცელების მათემატიკური აღწერა ეფუძნება თბოგამტარობის განტოლებას ერთგანზომილებიანი სივრცისათვის. ამ განტოლების ამოხსნა სასაზღვრო პირობებისათვის, რომელიც ითვალისწინებს ქანის ზედაპირის ტემპერატურის ცვლილებას ნებისმიერ მომენტში და ტემპერატურის მაქსიმალურ გადახრას გვიჩვენებს, რომ ტემპერატურის გავრცელება ქანის მასივში ექვემდებარება ტალღისებრ მოძრაობას. ამას მიყვავართ დასკვნამდე, რომ როდესაც საკმაოდ დიდი ტემპერატურული გრადიენტი არის გენერირებული, ნებისმიერი მყარი ქანი იქნება აფშვნილი.

თეორიულ ნაწილში ჩატარებული სამუშაოს საფუძველზე შექმნილია პლაზმური ჭავლის ფორმირების პერსპექტიული მეთოდები და კონსტრუქციული გადაწყვეტები, რომელთაგან რამდენიმე დაპატენტებულია და დანერგილია წარმოებაში.

პლაზმატრონის კათოდის დამზადების მეთოდი, რომელიც იძლევა პლაზმატრონის ისეთი კათოდის დამზადების შესაძლებლობას, რომელიც იმუშავებს ნებისმიერი ტიპის გაზის გარემოში (ჰაერი, ჟანგბადი, ნახშირორჟანგი, აზოტი, წყლის ორთქლი, წყალბადი, ინერტული აირები და ასე შემდეგ) და უზრუნველყოფს სრულ თბურ კონტაქტს საკათოდე ღეროსა და გამაცივებელ ღეროს შორის. ამ მეთოდის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ გამაცივებელი ღეროს ნახვრეტში თავსდება მრავალკომპონენტიანი საკათოდე ფხვნილის ნარევი და მათი კომპაქტირება ხდება აფეთქების ტალღის ან იმპულსური მაგნიტური ტალღის მეშვეობით.

ღია ტიპის მძლავრი პლაზმური წარმონაქმნის მიღების ხერხი გამოიხატება იმაში, რომ თავისუფალი პლაზმური ჭავლის ჩაკეტილი კონტური ჰკვეთს ცვლად მაგნიტურ ნაკადს, რომელიც აინდუქტირებს მასში ელექტრომამოძრავებელ ძალას. მაგნიტური ნაკადი თავისუფალი პლაზმური ჭავლის ჩაკეტილი კონტურში აღძრავს ელექტრომამოძრავებელ ძალას, რომელიც ამ კონტურში წარმოშობს დენს. ეს დენი არ გადის არც ერთ პლაზმური ჭავლის წარმომქმნელ ხელსაწყოში. ამიტომ პრაქტიკულად ამ დენის ძალის სიდიდე შეზღუდული არ არის.

მძლავრი პლაზმური ჭავლის მიღების ხერხი უზრუნველყოფს მძლავრი პლაზმური ჭავლის მიღებას უშუალოდ ერთ პლაზმატრონში, ერთ ღერძზე რამდენიმე რკალის შეთავსებით, რომელსაც გააჩნია ყველა რკალის ჯამური სიმძლავრე, ხოლო პლაზმატრონის ჯამური დენი გადანაწილებულია რამდენიმე კათოდურ და ანოდურ ლაქაზე. ამით პლაზმატრონის დასაშვები დენის ძალის სიდიდე იზრდება იმდენჯერ, რამდენჯერაც გაიზრდება ასე დაწყვილებულ ელექტროდთა რაოდენობა.

პლაზმური ბურღვის მეთოდი, რომელიც ითვალისწინებს ბურღის ნაცმის პლაზმით გახურებას, ამ გახურებული ნაცმით ქანის გაღნობას და

გამდნარ ქანში მისი გადნობისას ფორიანობის შემცირების შედეგად ქანის მოცულობის შემცირებისა და გამოყოფილი გაზების შეკუმშვის ხარჯზე ნაცმის ჩადრმაგებას ქანში. მაშასადამე გაბურღული მასალის (ჯერ გამდნარი და შემდეგ გაცივებული ქანის) ზედაპირზე ამოტანა საჭირო არ არის და უმრავლეს შემთხვევაში არც სამაგრი მიღების გამოყენებაა აუცილებელი.

ელექტროგამტარი სამრეწველო ნარჩენების პლაზმური გადამუშავების მეთოდი. ჩვენს მიერ დამუშავებულია პლაზმური გადამუშავების ხერხი ისეთი სამრეწველო ნარჩენებისათვის, რომელთაც პლაზმური ტექნოლოგიისათვის მისაღები ელექტროგამტარობა გააჩნიათ. ესენია ქვანახშირის (ტყიბული, ახალციხე, ტყვარჩელი, საკმარისი ელექტროგამტარობა 800-900 °C ტემპერატურის დროს) გამდიდრების ნარჩენები და მეტალურგიული ნარჩენები (რუსთავი, ზესტაფონი, პრაქტიკულად ლითონური ელექტროგამტარი).

დაპროექტებულია, დამზადებულია, გამოცდილია, გამოკვლეულია და დანერგილია 40 კვტ. სიმძლავრის არალითონური მასალების დასამუშავებელი პლაზმური დანადგარი, რომელიც განკუთვნილია ქანების მოსანგრევად, მასივიდან ბლოკების მოსაჭრელად, ბლოკების დასაჭრელად, საამშენებლო მასალების მოსაპირკეთებლად და ასე შემდეგ. ამ დანადგარის თეორიული კვლევის შედეგად აღწერილია პლაზმური რკალის კვების წყაროს მართკუთხა მახასიათებლის მიღების პრინციპი და ჩატარებულია მისი მუშაობის პროცესის ანალიზი კლასიკური მეთოდით. ნაჩვენებია, რომ პლაზმური რკალის სტაბილურობას ყველაზე კარგად უზრუნველყოფს ასეთი ტიპის კვების წყარო. მასში განსაზღვრულია სამფაზა გამმართველის ძირითადი საპროექტო პარამეტრები ასეთი შემთხვევისათვის, კერძოდ, უკუძაბვები დიოდებზე, დიოდების დენები, ძალური ტრანსფორმატორის პირველადი და მეორადი გრაგნილების ხაზური და ფაზური დენები და ძალური ტრანსფორმატორის პირველადი და მეორადი გრაგნილების ხაზური და ფაზური ძაბვები. შექმნილია ამ პარამეტრების საანგარიშო ალგორითმები და პროგრამები.

ექსპერიმენტალური მონაცემების მიხედვით მიღებულია ფორმულები, რომლებიც იძლევიან პლაზმატრონის განზოგადებულ ვოლტამპერულ, თბური და დაწნევის მახასიათებლებს და განსაზღვრულია პარამეტრების კომბინაცია, რომელთათვისაც ეს ფორმულები სამართლიანია.

Abstract

The using of the plasma technology in Mining was limited because of the its specificity (the large capacities, the limited environment, the poor condition of work etc.) and was less used on practice.

The main aim of the work is the development of a new direction in the plasma technology - the plasma technologies of Mining Industry. For implementation of this goal the following activities were done:

The perspective areas of using the plasma technology in Mining have been detected. This is the using plasma-flow to break the solid rocks; to process a surface of the building materials made from the solid rocks; to drill rocks; to recycle the mining industry wastes; to produce and repair the equipment of Mining Industry.

The replacement scheme of the plasma-arc operation was done which is based on the analysis of the electrophysical processes occurring in plasma equipment and analysis of electromagnetic processes was conducted by using the classical mathematic methods. Its an algorithm of solutions and a program were created on base of which the original methods of the plasma-flow formation and the designs of plasma device were developed for using in Mining.

On base of the analysis of electromagnetic processes those criteria of power-supply of plasma-device were established that provide an effective operation of plasma-torch. The effective operation of the plasma torch is possible when the current-voltage characteristic of power-source is a slant line and its tilt angle close to 90^0 . The power-supply is not a "voltage-supply" it's a "current-supply" ie., when the plasma-arc resistance is changing the voltage is changing not the current and the maximum voltage of idling should be only 10-15% more than maximum working-voltage. The current-voltage characteristic of power-source should have a rectangle shape, ie, the power-source should be a "current source" in the working and short circuit regime and a "voltage source" in an idling regime.

On the basis of the experimental data and theoretical calculations the comparative analysis of the cooling process of an anode by different methods has been done. The convective cooling (by water and by air) was compared with the cooling-process caused by the boiling of water. It is established that the cooling of the electrodes by the boiling of water is equal to the convective cooling by water.

Also, the analysis of the thermal processes of plasma-flow action on the surface of the solid rock was done. The mathematical description of the temperature distribution in rock is based on the equation of thermal conductivity for the 1D space. The solution of this equation for the boundary conditions, which stipulates the changing of the temperature of the rock surface at any instant and the maximum temperature deviation, shows that the temperature distribution in rock is subordinated to wave model. That leads us to the conclusion that when a sufficiently large temperature gradient is generated, any rock will be broken.

On the basis of this work, carried out in the theoretical part, the advanced methods of the plasma-flow formation and the design solutions are created, some of which are patented and introduced in production.

Two methods of plasma-torch cathode production, which gives opportunity to make such cathode that would work for any type of gas (air, oxygen, carbon, nitrogen, water, steam, hydrogen, inert gases, and so on) and would provide full thermal contact between a rod of cathode and a rod of cooling. The essence of these methods is that the multicomponent mixture of a cathode is placed in the hole of the cooling rod and happens their compaction by the blast wave or the pulsed magnetical wave.

A reception method of an open-type plasma-formation is that a closed contour of the free plasma crosses the variable magnetic flow which induces the electromotive force in it. The magnetic flow induces the electromotive force in the closed, open-type plasma-contour that creates the current in this contour. This current doesn't flow in plasma-torches and its force-power is not limited.

Method of reception of the powerful plasma-jet. A method provides creation of several combined electric-arc in the plasma-torch on one axis. Which has the summed power of these electrical-arcs, and the summed current of the plasma-torch is redistributed on several cathode and anode spot, by this the allowable value of the current-force is increased by the amounts of so paired electrodes.

A plasma-processing method of the conducting industrial wastes. We have developed the plasma-processing method for the industrial wastes which have the conductivity acceptable for Plasma technology. There are the wastes of the enriched coal (Tkibuli, Akhaltsikhe, Tkvarcheli, enough conductivity during 1800-1900⁰ temperatures) and metallurgical wastes (Rustavi, Zestaponi, almost a conductive).

შინაარსი

შესავალი -----	xiv
თავი 1. ლიტერატურული მიმოხილვა	
§1.1. საიდან მომდინარეობს დისერტაციაში დასმული პრობლემა-----	1
§1.2. რა არის უკვე ცნობილი ამ პრობლემის შესახებ-----	2
§1.2.1. ინდუსტრიული პლაზმატრონები -----	5
§1.2.2. პლაზმატრონში გამოყენებული გაზები -----	8
§1.2.3. ძაბვების განაწილება ელექტრორკალურ პლაზმურ ნაკადში -----	9
§1.2.4. პლაზმატრონის მარგი ქმედების კოეფიციენტი -----	11
§1.2.5. პლაზმატრონის ელექტროდები -----	12
§1.2.6. პლაზმური ჭრა და შედუღება -----	13
§1.2.7. პლაზმური დაფრქვევა -----	16
§1.2.8. პლაზმური მეტალურგია -----	19
§1.3. რა ალტერნატიული მეთოდებია უკვე შემუშავებული დასმული პრობლემის გადაჭრისათვის -----	21
§1.4. რა ნაკლოვანებები აქვს ცნობილ მეთოდებს და რა ნაკლოვანებებია აღმოფხვრილი წინამდებარე სადისერტაციო ნაშრომში -----	24
თავი 2. შედეგების განსჯა	
§2. სამთო საქმეში გამოყენებადი პლაზმურ დანადგარებში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური და თბური პროცესების თეორიული საფუძვლები -----	26
§2.1. პლაზმური რკალის ფუნქციონირების თეორიული საფუძვლები ----	27
§2.2. პლაზმური დანადგარის ელექტრომაგნიტური პროცესის თეორიული საფუძვლები -----	30
§2.3. ირიბი ზემოქმედების პლაზმატრონის ელექტროდების გაცივების სისტემების შედარებითი ანალიზი -----	34
§2.3.1. პლაზმატრონის ანოდის ჰაერით გარსშემოდინების დროს კონვექციური გაცივების გაანგარიშება -----	39
§2.3.2. პლაზმატრონის ანოდის წყლის დუღილით გაცივების გაანგარიშება-- -----	40
§2.4. მყარი ქანის ზედაპირზე პლაზმური აღის ზემოქმედების თბური პროცესის თეორიული ანალიზი -----	42
§3. პლაზმური ჭავლის ფორმირების ორიგინალური ხერხებისა და კონსტრუქციების დამუშავება -----	46
§3.1. პლაზმატრონის კათოდის დამზადების ხერხი -----	47

§3.2.	პლაზმური ჭავლის გამაძლიერებლის შექმნა და კვლევა -----	49
§3.3.	მძლავრი პლაზმური ჭავლის მიღების ხერხი -----	53
§3.4.	პლაზმური ბურღვის ახლი მეთოდი და ბურღის სიმძლავრის გაანგარიშება ამ მეთოდისათვის -----	57
§3.5.	პლაზმური ბურღვის ხერხი, რომელიც გამორიცხავს სამაგრმილების გამოყენებას -----	64
§3.6.	სამთო წარმოების ნარჩენების პლაზმური გადამუშავების მეთოდების დამუშავება -----	69
§3.7.	პლაზმური დანადგარებისათვის მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყაროს შექმნა და მისი მოქმედების თეორიული საფუძვლების დამუშავება -----	77
3.7.1.	სისტემის: “მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყარო-პლაზმატრონის” დამყარებული რეჟიმების ელექტრომაგნიტური პროცესების საკვლევი ალგორითმებისა და პროგრამების დამუშავება -----	90
3.7.2.	სისტემის: “მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყარო-პლაზმატრონის” გარდამავალი რეჟიმების ელექტრომაგნიტური პროცესების საკვლევი ალგორითმებისა და პროგრამების დამუშავება -----	93
3.7.3.	სისტემის: “მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყარო-პლაზმატრონის” კომპიუტერული კვლევის შედეგები -----	95
§4.	სამთო საქმეში გამოყენებადი არა ლითონური მასალების პლაზმური ჭრისა და მოპირკეთების დანადგარების დამუშავება, დამზადება, გამოცდა და გამოკვლევა -----	96
§4.1.	პლაზმატრონის ვოლტამპერული მახასიათებლების კვლევა ძირითადი პარამეტრების მიხედვით -----	97
§4.2.	მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყაროს შემცველი პლაზმური დანადგარის დამუშავება დამზადება და კვლევა -----	100
§4.3.	ბუნებრივი სამშენებლო მასალების ზედაპირების პლაზმური მოდნობით დამუშავების პარამეტრების კვლევა -----	106
§4.4.	პლაზმატრონის საქმენის კრიტიკული კვების წინ წნევის ცვალებადობის ხასიათის კვლევა -----	111
§4.5.	ხელოვნური სამშენებლო მასალების ზედაპირების პლაზმური მოდნობით დამუშავების პარამეტრების კვლევა -----	111
§5.	დასკვნა -----	113
	ლიტერატურა -----	117

ცხრილების ნუსხა

- ცხრილი 1.** მაღალი სიმძლავრის ინდუსტრიული პლაზმატრონები ----- 6
- ცხრილი 2.** რკალის დაბეჭედი პლაზმური ჭრისა და პლაზმური დაფრქვევის შემთხვევებში ----- 10
- ცხრილი 3.** შედუღების პროცესის შედარება ----- 15
- ცხრილი 4.** პლაზმური ჭრის ზოგიერთი ექსპერიმენტული მონაცემი ----- 15
- ცხრილი 5.** ტიტანის ციკლედიანი ელექტრონულ-სხივური და ციკლედიანი პლაზმური გამოდნობის ტექნოლოგიების შედარება ----- 20
- ცხრილი 6.** პლაზმატრონის პარამეტრების ცვალებადობის ცხრილი 40კვტ. სიმძლავრის პლაზმური დანადგარზე ჩატარებული ცდების მიხედვით ----- 98
- ცხრილი 7.** მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყაროს ტექნიკური მახასიათებლები ----- 103
- ცხრილი 8.** ოპტიმალური ტექნოლოგიური პარამეტრები, რომლებიც შეესაბამებიან მაქსიმალურ ეფექტურობას ბუნებრივი ქანების ზედაპირების მოდნობას დეკორატიულობისა და სიმაგრის თვალსაზრისით ----- 107
- ცხრილი 9.** ოპტიმალური ტექნოლოგიური პარამეტრები, რომლებიც შეესაბამებიან მაქსიმალურ ეფექტურობას ხელოვნური სამშენებლო მასალების ზედაპირების მოდნობას დეკორატიულობისა და სიმაგრის თვალსაზრისით ----- 112

ნახაზების ნუსხა

ნახაზი 1. პლაზმატრონის მოქმედების პრინციპი -----	3
ნახაზი 2. პლაზმური ნაკადის გაზით სტაბილიზაციის სქემები -----	4
ნახაზი 3. პლაზმური დაფრქვევის დანადგარის სქემატური გამოსახულება-----	6
ნახაზი 4. პლაზმური ბურღი -----	22
ნახაზი 5. ბურღსატეხის კბილები აღდგენამდე -----	23
ნახაზი 6. ბურღსატეხის კბილები აღდგენის შემდეგ -----	23
ნახაზი 7. სატეხის კორპუსი აღდგენამდე -----	23
ნახაზი 8. სატეხის კორპუსი აღდგენის შემდეგ -----	24
ნახაზი 9. პლაზმური რკალის მოქმედების პრინციპი -----	29
ნახაზი 10. პლაზმური დანადგარის გამარტივებული სქემა -----	29
ნახაზი 11. პლაზმური დანადგარის ჩანაცვლების სქემა -----	30
ნახაზი 12. ქანების აფშენით პლაზმური დამუშავების პროცესი -----	43
ნახაზი 13. პლაზმური ჭავლის გაძლიერების ხერხი -----	51
ნახაზი 14. მძლავრი პლაზმური ჭავლის მიღების ხერხი ერთი კათოდითა და რამდენიმე ანოდით -----	56
ნახაზი 15. მძლავრი პლაზმური ჭავლის მიღების ხერხი რამდენიმე კათოდითა და რამდენიმე ანოდით -----	57
ნახაზი 16. პლაზმური ბურღვის მეთოდი, როდესაც პლაზმური ბურღის ანოდი და კათოდი იზოლირებულია ქანისაგან -----	59
ნახაზი 17. პლაზმური ბურღვის მეთოდი, როდესაც ქანისაგან იზოლირებულია მხოლოდ პლაზმური ბურღის კათოდი -----	61
ნახაზი 18. პლაზმური ბურღვის ხერხი დამატებითი მასალის ჩამატებით -----	66
ნახაზი 19. მაღალი ელექტროგამტარობის მქონე ნარჩენების პლაზმური გადამუშავება -----	71
ნახაზი 20. საკმარისად მდგრადი ბრიკეტებიდან ფეროსილიკოალუმინის გამოდნობის სქემა -----	75
ნახაზი 21. მართკუთხა მახასიათებლის მქონე პლაზმური დანადგარის კვების წყაროს სქემა -----	78
ნახაზი 22. დამრეცი მახასიათებლის მქონე ტრანსფორმატორის მახასიათებლები -----	79
ნახაზი 23. ხისტი მახასიათებლის მქონე ტრანსფორმატორის მახასიათებელი -----	79

ნახაზი 24. მართკუთხა მახასიათებლის მქონე პლაზმური დანადგარის კვების წყაროს მახასიათებლები -----	80
ნახაზი 25. მართკუთხა მახასიათებლის მქონე დენის წყაროზე მიერთებული სამფაზა გამმართველის ჩანაცვლების სქემა -----	82
ნახაზი 26. მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყაროს დენებისა და ძაბვების მრუდები მუშა რეჟიმებში -----	84
ნახაზი 27. სისტემის: “მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყარო-პლაზმატრონის” დამყარებული რეჟიმების ელექტრომაგნიტური პროცესების საკვლევი პროგრამების ფრაგმენტი და ამ პროგრამებით აგებული გრაფიკები -----	92
ნახაზი 28. სისტემის: “მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყარო-პლაზმატრონის” დამყარებული რეჟიმების ელექტრომაგნიტური პროცესების საკვლევი პროგრამების ფრაგმენტი და ამ პროგრამებით აგებული გრაფიკები -----	94
ნახაზი 29. არა ლითონური მასალების პლაზმური ჭრისა და მოპირკეთების დანადგარის ბლოკ სქემა -----	96
ნახაზი 30. პლაზმატრონის ფოტო -----	97
ნახაზი 31. PG-3R და PG-401 ტიპის პლაზმატრონების ვოლტამპერული მახასიათებლები -----	99
ნახაზი 32. მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყაროს ბლოკ-სქემა - -----	101
ნახაზი 33. მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყაროს ფოტოსურათი -----	102
ნახაზი 34. პლაზმური დანადგარის ფოტო -----	104
ნახაზი 35. პლაზმური დანადგარი სამუშაო მდგომარეობაში -----	105
ნახაზი 36. პლაზმით მოდნობილი ბაზალტისა და ანდეზიტის ზედაპირები - -----	108
ნახაზი 37. პლაზმური დანადგარის ერთობლივი გამოცდა კანადის ტორონტოს უნივერსიტეტის პროფესორის მონაწილეობით ---	109
ნახაზი 38. სისტემის: “მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყარო – პლაზმატრონის” სტაბილური მუშაობის არე -----	110
ნახაზი 39. პლაზმით მოდნობილი ბეტონის ფილების ზედაპირები -----	113

შესავალი

თემის აქტუალობა. სამთო ელექტრომექანიკის მიმართულება, რომელიც შეისწავლის და იკვლევს სამთო ამწევი მანქანების, წყალსაქცევი, სავენტილაციო და ტექნოლოგიური დანადგარების ელექტროტექნიკურ ნაწილს, ამჟამად ვითარდება მეცნიერებისა და ტექნიკის უახლესი მიღწევების გამოყენებით. სამთო ელექტრომექანიკის მიმართულებით ამჟამად ასეთი მეცნიერებისა და ტექნიკის უახლესი დარგია პლაზმური ტექნოლოგია. სამთო ამწევი მანქანების, წყალსაქცევი, სავენტილაციო და ტექნოლოგიური დანადგარების წარმოებასა და ექსპლუატაციაში პლაზმური ტექნოლოგია შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას ლითონების საჭრელად, გაცვეთილი დეტალების აღსადგენად, მყარი ქანების მოსანგრევად, მყარი ქანებისაგან სამშენებლო მასალების დასამზადებლად, ღრმა ბურღვისათვის, მეტალურგიაში, ნანო მასალების მისაღებად და ასე შემდეგ.

კვლევის ობიექტი. პლაზმური ტექნოლოგიების გამოყენება სამთო საქმეში ამჟამად განვითარების სტადიაშია და ამიტომ ამ მიმართულებით აუცილებელია:

1. სამთო საქმეში პლაზმური ტექნოლოგიების გამოყენების არის დადგენა;
2. სამთო საქმეში პლაზმური ტექნოლოგიების გამოყენების შესაბამისი პლაზმური ჭავლის ფორმირების ხერხების შექმნა;
3. სამთო ქანებისა და ტექნოლოგიური დანადგარების დეტალების დასამუშავებელი პლაზმატრონების შექმნა;
4. სამთო ქანებისა და ტექნოლოგიური დანადგარების დეტალების დასამუშავებელი მძლავრი, ენერგოდამზოგი და ეკოლოგიურად უსაფრთხო პლაზმური დანადგარის დამუშავება;
5. სათანადო პლაზმური ტექნოლოგიების დამუშავება.

მოცემულ ნაშრომში სამთო ელექტრომექანიკის მიმართულებით პლაზმური ტექნოლოგიის გამოყენების პერსპექტიულ არეგებად მიჩნეულია:

1. ლითონების პლაზმური ჭრისა და შედუღების გამოყენება სამთო ამწევი მანქანების, წყალსაქცევი, სავენტილაციო და ტექნოლოგიური დანადგარების წარმოებაში;
2. პლაზმური ჭრის, შედუღების, დაფრქვევისა და დადუღების გამოყენება სამთო ამწევი მანქანების, წყალსაქცევი, სავენტილაციო და ტექნოლოგიური დანადგარების რემონტისას;
3. პლაზმური ჭავლის გამოყენება მყარი ქანების მოსანგრევად;
4. პლაზმური ჭავლის გამოყენება მყარი ქანებისაგან სამშენებლო მასალების დასამზადებლად და მოსაპირკეთებლად;
5. პლაზმური ბუღრვა;
6. სამთო მომპოვებელი ინდუსტრიის ნარჩენების გადამუშავება;
7. პლაზმური ნაწი ტექნოლოგიების გამოყენება სამთო დანადგარების წარმოებაში.

დისერტაციის ძირითადი მიზანია სამთო საქმეში პლაზმური ტექნოლოგიების გამოყენების საფუძვლების შექმნა.

ამ მიმართულებით პირველ რიგში ჩვენს მიერ ჩამოყალიბებულია სამთო საქმეში პლაზმური ტექნოლოგიის გამოყენების პერსპექტიული არეები:

- პლაზმური ჭავლის გამოყენება მყარი ქანების მოსანგრევად;
- პლაზმური ჭავლის გამოყენება მყარი ქანებისაგან სამშენებლო მასალების დასამზადებლად და მოსაპირკეთებლად;
- პლაზმური ბუღრვა;
- სამთო მომპოვებელი ინდუსტრიის ნარჩენების გადამუშავება.

ამ ნაშრომში დამუშავებული პლაზმური ჭავლის ფორმირების ხერხები, პლაზმური დანადგარები და მათი კვლევის შედეგები ძირითადად განკუთვნილია აქ დასახელებულ არეებში გამოსაყენებლად[1-23].

პლაზმა არის ნივთიერების მეოთხე მდგომარეობა (მყარი, თხევადი, გაზობრივი და პლაზმა), რომელიც წარმოადგენს ნივთიერების დამუხტული და ნეიტრალური ნაწილაკების ერთობლიობას. ეს ნიშნავს მაღალ სამუშაო ტემპერატურას და მაღალი ენერგიის ნაკადს. პლაზმის

გამოყენების მთავარი ინტერესი დღესდღეობით ფოკუსირებულია ენერჯის მაღალ სიმკვრივეზე მის გარემოში. პლაზმის გამოყენება ტექნოლოგიებში მეცნიერების უახლესი მიღწევაა და ერთერთი მისი პირველი პრიორიტეტია. პლაზმა გამოიყენება ინდუსტრიის მრავალ დარგში. ამ ნაშრომის მიზანია სამთო მომპოვებელ მრეწველობაში ტექნოლოგიის ახალი მიმართულების-პლაზმური ტექნოლოგიის განვითარება.

ცნობილია პლაზმის მიღების მრავალი ხერხი [24-105]. ამათგან სამთო საქმეში გამოყენებადი პლაზმური ტექნოლოგიები ძირითადად დაფუძნებულია ელექტრორკალურ პლაზმაზე.

სამთო საქმეში პლაზმური ტექნოლოგიის გამოყენების სპეციფიკურობის გამო (დიდი სიმძლავრეები, შეზღუდული გარემო, მუშაობის მძიმე პირობები და სხვა) პლაზმური ტექნოლოგიის გამოყენება შეზღუდული იყო და პრაქტიკაში გამოყენებული იყო ნაკლებად. ამიტომ ჩვენ მოგვიხდა პლაზმური ჭავლის ფორმირების ისეთი ხერხებისა და დანადგარების დამუშავება (მათი ორიგინალობა დადასტურებულია რამდენიმე პატენტით და საერთაშორისო კონფერენციებზე გაკეთებული მოხსენებებით), რომელიც საშუალებას მოგვცემდა პლაზმური ტექნოლოგიის გამოყენებას სამთო საქმეში [13-23].

სამთო საქმეში პლაზმური ტექნოლოგიის გამოყენების პერსპექტიული არეების დადგენის შემდეგ ჩვენ ჩავატარეთ პლაზმური დანადგარების მუშაობის თბური და ელექტრომაგნიტური პროცესების ანალიზი, რამაც საშუალება მოგვცა დაგვემუშავებინა ისეთი პლაზმის ფორმირების ხერხები და პლაზმური დანადგარები, რომელთა გამოყენება შესაძლებელია სამთო საქმის იმ არეებში, რომლებიც ჩამოყალიბებულია ზემოთ.

სამუშაოს სამეცნიერო სიახლე მდგომარეობს შემდეგში:

პლაზმურ დანადგარებში მიმდინარე ელექტროფიზიკური პროცესების ანალიზის საფუძველზე ჩვენ შევადგინეთ პლაზმური რკალის ფუნქციონირების ჩანაცვლების სქემა და მოვახდინეთ მისი ელექტრომაგნიტური პროცესების ანალიზი მათემატიკის კლასიკური მეთოდებით (§2.1-2.2. §3.7.), [1-7]. შევქმენით მისი ამონახსნების ალგორითმი

და პროგრამა (§3.7.1-3.7.3.), [7]), რამაც საშუალება მოგვცა დაგვემუშავებინა სამთო საქმეში გამოყენებადი ორიგინალური პლაზმური ჭკავლის ფორმირების ხერხები და პლაზმური დანადგარების კონსტრუქციები (§3.7.1-3.7.3.), (§4.1-4.3.), [3, 5, 9-11].

ელექტრომაგნიტური პროცესების ანალიზი საშუალებას იძლევა ჩამოვაყალიბოთ პლაზმური დანადგარის დენის წყაროს მიმართ წაყენებული ის კრიტერიუმები, რომლებიც იძლევიან პლაზმატრონის ეფექტური მუშაობის საშუალებას. ესენია:

1. პლაზმატრონის ეფექტური მუშაობა მუშა რეჟიმში უზრუნველყოფილია კვების წყაროს დამრეცი სტატიკური ვოლტამპერული მახასიათებლის შემთხვევაში, როდესაც მახასიათებლის დახრის კუთხე უახლოვდება 90° – ე. ი. კვების წყარო წარმოადგენს არა ძაბვის წყაროს, არამედ დენის წყაროს, ანუ როდესაც პლაზმური რკალის წინააღმდეგობის ცვლილებისას იცვლება ძაბვა და არა დენი;
2. უქმი სავლის მაქსიმალური ძაბვა უნდა იყოს მხოლოდ 10-15%-ით მეტი ვიდრე მაქსიმალური მუშა ძაბვა ე. ი. კვების წყაროს ვოლტამპერულ მახასიათებელს უნდა ჰქონდეს მართკუთხედის ფორმა ე. ი. კვების წყარო უნდა იყოს დენის წყარო მუშა და მოკლედ ჩართვის რეჟიმში და ძაბვის წყარო უქმი სვლის რეჟიმში;
3. კვების წყაროს დენისა და ძაბვის პულსაცია უნდა იყოს მინიმალური. ამ ანალიზის საფუძველზე ჩვენ შევქმენით, დავამზადეთ და გამოვიკვლიეთ მართკუთხა მახასიათებლის მქონე დენის წყარო, რომელიც უზრუნველყოფს პლაზმატრონის სტაბილურ და უავარიო მუშაობას (§3.7.1-3.7.3), [1, 7]).

ამ სამუშაოს თეორიულ ნაწილში ჩვენ ჩავატარეთ პლაზმატრონის მუშაობის თბური პროცესების ანალიზი თეორიული და ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე (§ 2.3., [2, 4]).

თეორიული გაანგარიშებები ჩატარებული იყო თბოგადაცემის თეორიის ექსპერიმენტული ფორმულების გამოყენებით.

ექსპერიმენტული მონაცემებისა და თეორიული გამოთვლების საფუძველზე ჩატარებულია პლაზმატრონის ანოდის სხვადასხვა მეთოდებით გაცივების პროცესის შედარებითი ანალიზი. წყლით და ჰაერით კონვექციური გაცივება შედარებულია წყლის დუღილით გამოწვეულ გაცივების პროცესთან. დადგენილია, რომ წყლის დუღილით ელექტროდების გაცივება წყლით კონვექციური გაცივების თანაბარძალიანია.

მიღებული შედეგი იძლევა რეალურ საფუძველს, რომ ჩატარდეს საკონსტრუქტორო-სამეცნიერო სამუშაოები ახალი თაობის ისეთი პლაზმატრონების შესაქმნელად, რომელთა ელექტროდებიც გაცივდება პლაზმატრონში მომარაგებული წყლის დუღილით, ხოლო ამავდროულად პლაზმაწარმოქმნელ აირად გამოყენებული იქნეს ამ დუღილით მიღებული წყლის ორთქლი.

ამ სამუშაოს თეორიულ ნაწილში ჩვენ ჩავატარეთ აგრეთვე მყარი ქანის ზედაპირზე პლაზმური ალის ზემოქმედების თბური პროცესების თეორიული ანალიზი (§2.4, [8, 12]).

სითბოს დიდი ინტენსივობის გამო პლაზმის ნაკადი ახურებს მყარი ქანის ზედაპირს იმდენად სწრაფად, რომ სითბოს გავრცელების ინერციულობის გამო, ქანის ქვედა შრე ვერ ასწრებს გახურებას და წარმოიქმნება დიდი ტემპერატურული გრადიენტი ქანის ლოკალური ნაწილის ზედა და ქვედა შრეებს შორის. ამიტომ სხვადასხვაა ამ შრეების თბური გაფართოებისა და შეკუმშვის ხარისხი, რაც წარმოქმნის მექანიკურ დაძაბულობებს ამ შრეებს შორის და ხდება ქანის ზედა შრის ატკეჩვა. ამის გამო, როდესაც წარმოქმნილი დაძაბულობები აჭარბებს ქანის რღვევის დასაშვებ დაძაბულობებს, პატარა ზომის ნაფშვენები ცილდებიან ქანს.

ნაფშვენების მოცილების მიმართულება დამოკიდებულია პლაზმური ჭავლის გადაადგილების მიმართულებაზე.

მყარი ქანის ზედაპირზე ტემპერატურის ცვლილების სიდიდე და პლაზმური ნაკადის დიდი კინეტიკური ენერგია (პლაზმური ნაკადის

სიჩქარე აჭარბებს ზებგერით სიჩქარეს) იძლევა ქანის, როგორც ზედაპირული, ასევე სიღრმისეული ჭრის საშუალებას.

მყარ ქანში ტემპერატურის გავრცელების მათემატიკური აღწერა ნებისმიერ მომენტში რათა განისაზღვროს მაღალი ტემპერატურის გავრცელების ნორმა და შეღწევალობის სიღრმე და, შესაბამისად სისქე ნაფშენისა, ეფუძნება თბოგამტარობის განტოლებას 1D სივრცისათვის.

ამ განტოლების ამოხსნა სასაზღვრო პირობებისათვის, რომელიც ითვალისწინებს მყარი ქანის ზედაპირის ტემპერატურის ცვლილებას ნებისმიერ მომენტში და ტემპერატურის მაქსიმალურ გადახრას, გვიჩვენებს, რომ ტემპერატურის გავრცელება მყარი ქანის მასივში ექვემდებარება ტალღისებრ მოდელს. ტემპერატურის ტალღის ამპლიტუდა მცირდება სიღრმის ხარისრის მახვენებელთან, ხოლო ტემპერატურა ყოველ მომდევნო პერიოდში აღიწერება ახალი ტალღით, რომელიც მიმართულია მყარი ქანის მასივის შიგნით X-ღერძის გასწვრივ.

ეს ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ტემპერატურის რხევები მყარი ქანის ზედაპირზე ექვემდებარება ტალღის თეორიის პრინციპებს. შესაბამისად ქანის ჭრის მაქსიმალური სიჩქარე არ აღემატება ტალღის გავრცელების სიჩქარეს მყარი ქანის მასივში. როდესაც ქანის მასივში სითბოგადაცემა ხდება უფრო ინტენსიური, ზედაპირის შრის ტემპერატურა და მაშასადამე ტემპერატურული გრადიენტი მყარი ქანის მასივში იზრდება, რაც გვაძლევს შინაგანი დაძაბულობის გაზრდას. ამას მიყვავართ დასკვნამდე, რომ როდესაც საკმაოდ დიდი ტემპერატურული გრადიენტი არის გენერირებული, ნებისმიერი მყარი ქანი იქნება აფშენილი.

დაცვაზე გამოიტანება.

მოცემულ ნაშრომში სამთო ელექტრომექანიკის მიმართულებით პლაზმური ტექნოლოგიის გამოსაყენებლად შექმნილია პლაზმური ჭავლის ფორმირების პერსპექტიული მეთოდები, რომელთაგან რამდენიმე წარდგენილია საერთაშორისო კონფერენციებზე, დაპატენტებულია და დანერგულია წარმოებაში. მათ შორის:

პლაზმატრონის კათოდის დამზადების მეთოდი (§3.1, პატენტი № GE P 4440 B. 25.07. 2008). ეს მეთოდი იძლევა პლაზმატრონის ისეთი კათოდის დამზადების შესაძლებლობას, რომელიც იმუშავებს ნებისმიერი ტიპის გაზის გარემოში (ჰაერი, ჟანგბადი, ნახშირორჟანგი, აზოტი, წყლის ორთქლი, წყალბადი, ინერტული აირები და ასე შემდეგ) და უზრუნველყოფს სრულ თბურ კონტაქტს საკათოდე ღეროსა და გამაცივებელ ღეროს შორის. ამ მეთოდის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ გამაცივებელი ღეროს ნახვრეტში თავსდება მრავალკომპონენტური საკათოდე ფხვნილის ნარევი და ისინი დარტყმითი ტალღით კომპაქტირდება უწყვეტ მყარ ტანად. გამაცივებელი ღეროს და მრავალკომპონენტური საკათოდე ფხვნილის ნარევის კომპაქტირება ხდება აფეთქების ტალღის ან იმპულსური მაგნიტური ტალღის მეშვეობით. უპირატესობა ენიჭება მეორე მეთოდს, მაგრამ მის განსახორციელებლად საჭიროა საკმაოდ რთული მაგნიტურ-იმპულსური დანადგარი. ამიტომ ის გამოიყენება კათოდების სერიული წარმოების შემთხვევაში. ხოლო კათოდების მცირე რაოდენობით დამზადების შემთხვევაში მიზანშეწონილია აფეთქებით გამკვრივების მეთოდის გამოყენება;

ღია ტიპის მძლავრი პლაზმური წარმონაქმნის მიღების ხერხი (§3.2, პატენტი № GE P 4010 B. 12.25.2006). რაც გამოიხატება იმაში, რომ თავისუფალი პლაზმური ჭავლის ჩაკეტილი კონტური ჰკვეთს ცვლად მაგნიტურ ნაკადს, რომელიც აინდუქტირებს მასში ელექტრომამოძრავებელ ძალას. მაგნიტური ნაკადი თავისუფალი პლაზმური ჭავლის ჩაკეტილ კონტურში აღძრავს ელექტრომამოძრავებელ ძალას, რომელიც ამ კონტურში წარმოშობს დენს. ეს დენი არ გადის არც ერთ პლაზმური ჭავლის წარმომქმნელ ხელსაწყოში. ამიტომ პრაქტიკულად ამ დენის ძალის სიდიდე შეზღუდული არ არის. ამიტომ პრაქტიკულად ლიმიტირებული არ არის მიღებული პლაზმური ჭავლის ტემპერატურა და სიმძლავრე. გაძლიერების კოეფიციენტი შეიძლება იყოს 100 და მეტი;

მძლავრი პლაზმური ჭავლის მიღების ხერხი (§3.3, პატენტი № GE P 4948 B. 12.04.2010, [6]). ზემოთ განხილული ღია ტიპის მძლავრი პლაზმური

წარმონაქმნის მიღების ხერხის გამოყენება სამთო საქმეში მიზანშეწონილია განსაკუთრებით დიდი სიმძლავრეების საჭიროების შემთხვევაში (200კვტ-ს ზემოთ). 50-200კვტ სიმძლავრეების შემთხვევებისათვის ჩვენ დამუშავებული გვაქვს მძლავრი პლაზმური ჭავლის მიღების სხვა ხერხი.

ეს ხერხი უზრუნველყოფს მძლავრი პლაზმური ჭავლის მიღებას უშუალოდ ერთ პლაზმატრონში ერთ ღერძზე რამდენიმე რკალის შეთავსებით, რომელსაც გააჩნია ყველა რკალის ჯამური სიმძლავრე, ხოლო პლაზმატრონის ჯამური დენი გადანაწილებულია რამდენიმე კათოდურ და ანოდურ ლაქაზე. ამასთან თითოეული რკალის კათოდი და ანოდი მიერთებულია კვების წყაროსთან ცალცალკე, ინდივიდუალურად. მაშასადამე დამოუკიდებელი ქმედების პლაზმატრონების დასაშვები დენის ძალის სიდიდე იზრდება იმდენჯერ, რამდენჯერაც გაიზრდება ასე დაწვეილებულ ელექტროდთა რაოდენობა;

პლაზმური ბურღვის მეთოდი, რომელიც საფუძველს უყრის ბურღვის პრინციპულად განსხვავებულ ტექნოლოგიას (§3.4, განაცხადი პატენტის მიღებაზე № AP 011478. 2009, [3, 5, 7, 12]). აქამდე არსებული ჭაბურღილების ბურღვის ნებისმიერი საბურღი დანადგარი ითვალისწინებდა ნაბურღი მასალის ზედაპირზე ამოტანას, რაც ქმნის დიდ სირთულეებს, განსაკუთრებით ღრმა ბურღვის შემთხვევებში. პრაქტიკულად ჩვენ პირველად დავამუშავეთ ბურღვის მეთოდი, როდესაც ნაბურღი მასალის ზედაპირზე ამოტანა საჭირო არ არის.

ხერხი ითვალისწინებს ბურღვის ნაცმის პლაზმით გახურებას, ამ გახურებული ნაცმით ქანის გაღწობას და გამდნარ ქანში ქანის გაღწობისას ქანის ფორიანობის შემცირების შედეგად ქანის მოცულობის შემცირებისა და გამოყოფილი გაზების შეკუმშვის ხარჯზე ნაცმის ჩადრმავებას ქანში.

პლაზმა ახურებს მაღალ ტემპერატურამდე ნაცმს, რომელიც ადნობს ქანს. გამდნარი ქანში ხდება ფორების შევსება და გაზის გამოყოფა, რის შედეგადაც ხდება ქანის მოცულობის შემცირება და შეკუმშული გაზის ბალიშის წარმოშობა. მილის სიმძიმის ძალის გავლენით ხდება ნაცმის

ჩაძირვა გამდნარ ქანში. გამდნარი ქანის მინიმალური მოცულობა მუდამ რჩება ისე, რომ ნაცმის მოცულობა ნაკლები იყოს გამდნარი ქანის რაოდენობისა და ქანის ფორიანობის კოეფიციენტის ნამრავლისა. ამ თანაფარდობით განისაზღვრება ბურღვის სიჩქარე.

ქანის მცირე ან საშუალო ფორიანობის შემთხვევაში ბურღვის ამოღების შემდეგ გაცივებული ქანი ქმნის უწყვეტ კედელს ამიტომ სამაგრი მილის ჩაშვება ჭაბურღილში საჭირო არ არის. მაგრამ ქანის დიდი ფორიანობის შემთხვევაში კიდევ რჩება სიცარიელე. ამ შემთხვევაში სიცარიელის ამოსავსებად სიცარიელის არეში დნობის პროცესში ჩაემატება დამატებითი მასალა, რაც უზრუნველყოფს სიცარიელის სრულად შევსებას. ამის გამო პლაზმური ბურღვის ამოღების შემდეგ, რჩება მთლიანი კედელი, რაც მიიღება გამდნარი ქანისა და დამატებული გამდნარი მასალის გაცივების შემდეგ. ამის შედეგად ბურღვის დამთავრების შემდეგ სამაგრი მილების გამოყენების აუცილებლობა არ არსებობს.

მაშასადამე ნაბურღი მასალის (ჯერ გამდნარი და შემდეგ გაცივებული ქანის) ზედაპირზე ამოტანა საჭირო არ არის და უმრავლეს შემთხვევაში არც სამაგრი მილების გამოყენებაა აუცილებელი;

ელექტროგამტარი ინდუსტრიული ნარჩენების პლაზმური გადამუშავების მეთოდი (§3.6, განაცხადი პატენტის მიღებაზე № AP 011977. 21.10.2010).

ინდუსტრიული ნარჩენების გადამუშავება სასარგებლო პროდუქტად ან, მავნეობის შემთხვევაში, მისი განადგურება მეცნიერებისა და ტექნოლოგიების უმთავრესი ამოცანაა. ეს განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ორი მიზეზის გამო.

1. საქართველოში დარჩენილია მრავალი მილიონი ტონა სამთო მომპოვებელი და მეტალურგიული წარმოების ნარჩენი, რომელიც ფაქტიურად მრავალი სასარგებლო ნივთიერების საბადოა.
2. საქართველო, როგორც მომავალი ტურიზმის ქვეყანა საჭიროებს სამრეწველო ნარჩენების გადამუშავების უზრუნველყოფას მაღალ დონეზე. ნარჩენების სრული გადამუშავება მიიღწევა პლაზმურ ღუმელებში.

ჩვენს მიერ დამუშავებულია ისეთი სამრეწველო ნარჩენების პლაზმური გადამუშავების ხერხი, რომლებსაც პლაზმური ტექნოლოგიისათვის მისაღები ელექტროგამტარობა გააჩნიათ. ესენია ქვანახშირის გამდიდრების ნარჩენები (ტყიბული, ახალციხე, ტყვარჩელი, საკმარისი ელექტროგამტარობა 800-900°C ტემპერატურების დროს) და მეტალურგიული ნარჩენები (რუსთავი, ზესტაფონი, პრაქტიკულად ლითონური ელექტროგამტარი).

დისერტაციის პრაქტიკული მნიშვნელობა.

დაპროექტებულია, დამზადებულია, გამოცდილია, გამოკვლეულია და დანერგილია 40 კვტ სიმძლავრის არა ლითონური მასალების დასამუშავებელი პლაზმური დანადგარი (§4, [8-12]), რომელიც განკუთვნილია ქანების მოსანგრევად, ქანებიდან ბლოკების მოსაჭრელად, ბლოკების დასაჭრელად, საამშენებლო მასალების მოსაპირკეთებლად და ასე შემდეგ.

ამ დანადგარის თეორიული კვლევის შედეგად აღწერილია პლაზმური რკალის კვების წყაროს მართკუთხა მახასიათებლის მიღების პრინციპი და ჩატარებულია მისი მუშაობის პროცესის ანალიზი კლასიკური მეთოდით. ნაჩვენებია, რომ პლაზმური რკალის სტაბილურობას ყველაზე კარგად უზრუნველყოფს ასეთი ტიპის კვების წყარო. მასში განსაზღვრულია სამფაზა გამმართველის ძირითადი საპროექტო პარამეტრები ასეთი შემთხვევისათვის, კერძოდ, უკუძაბვები დიოდებზე, დიოდების დენები, ძალური ტრანსფორმატორის პირველადი და მეორადი გრაგნილების ხაზური და ფაზური დენები და ძალური ტრანსფორმატორის პირველადი და მეორადი გრაგნილების ხაზური და ფაზური ძაბვები.

შექმნილია ამ პარამეტრების საანგარიშო ალგორითმები და პროგრამები.

სამუშაო შედეგების რეალიზაცია.

ამ დანადგარის ექსპერიმენტულმა კვლევამ და ექსპერიმენტული მონაცემების ანალიზმა აჩვენა შემდეგი:

- გადაღებული პლაზმატრონის ვოლტამპერული მახასიათებელი აჩვენებს რომ მნიშვნელოვნად გაზრდილია ძაბვის ვარდნა რკალის ერთეულ სიგრძეზე, რაც იძლევა ტრადიციული პლაზმატრონების სიმძლავრის გაზრდის საშუალებას, რაც მიღწეულია ანოდის არხისათვის სპეციალური ფორმის მიცემით (ცილინდრული და კონუსური ფორმების მონაცვლეობით);
- პლაზმატრონის ვოლტამპერული მახასიათებელი ხისტია, რაც მიღწეულია პლაზმური დანადგარის ოპტიმალური ელექტროფიზიკური და ელექტრომაგნიტური სქემით;
- ექსპერიმენტალური მონაცემების საფუძველზე განსზღვრულია პლაზმური დანადგარის ოპტიმალური მუშაობის არე, რაც საკმაოდ ფართოა და მოცავს დენის ცვალებადობას 50-250 ამპერის ფარგლებში და ძაბვის ცვალებადობას 80-200 ვოლტის დიაპაზონში და რაც იძლევა პლაზმური დანადგარის სიმძლავრის რეგულირების საშუალებას 4-50 კვტ ფარგლებში.

ექსპერიმენტული მონაცემების მიხედვით მიღებულია ფორმულები, რომლებიც იძლევიან პლაზმატრონის:

- განზოგადოებულ ვოლტამპერულ მახასიათებლებს;
- განზოგადოებულ თბურ მახასიათებლებს;
- წნევის განზოგადოებულ მახასიათებლებს.

განსაზღვრულია პარამეტრების კომბინაცია რომლებისათვისაც ეს ფორმულები სამართლიანია.

სამუშაო აპრობაცია. სამუშაოს ძირითადი დებულებები მოხსენებული და განხილული იქნა შემდეგ საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკურ კონფერენციებზე:

1. Gelenidze D. Development of Plasma Torches for Recycling Hazardous Industrial and Military Wastes”. The 20th International Conference on Solid Waste Technology and Management. Philadelphia, PA, USA. April 3-6, 2005.

2. Batkhadze Z., Gelenidze D., Marquis F.D.S., Mostaghimi J., Gelenidze M., Chankvetadze Z. Svintradze T. "Plasma Facility for Basalt Filaments Production". Materials Science and Technology (MS&T). Detroit, Michigan, USA, September 12-20, 2007.
3. Gelenidze D.M., Prof. Gogia G. K. "DEVELOPMENT OF PLASMA DEVICE FOR RECYCLING HAZARDOUS INDUSTRIAL AND MILITARY WASTES". International Scientific Technical conference "New Technologies In Modern Industry". Tbilisi. April 29-30, 2010.
4. გელენიძე დ. "პლაზმური ტექნოლოგიების სამთო საქმეში გამოყენების შესაძლებლობების ანალიზი". სამეცნიერო კომფერენცია "თანამედროვე სამთო ტექნოლოგიები". თბილისი. 18-19 მაისი, 2010.

ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა. დისერტაცია შედგება შესავალის, 2 თავისა და ძირითადი დასკვნისაგან. ნაშრომის მოცულობა შეადგენს კომპიუტერზე ნაბეჭდ 147 გვერდს, რომელიც შეიცავს 9 ცხრილს და 39 ნახაზს.

პუბლიკაციები. დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნდა 20 დაბეჭდილი ნაშრომი, მათ შორის მიღებულია 7 პატენტი და 3 წინასწარი დადებითი გადაწყვეტილება.

თავი 1. ლიტერატურული მიმოხილვა

§1.1 საიდან მომდინარეობს დისერტაციაში დასმული პრობლემა

სამთო ელექტრომექანიკის მიმართულება, რომელიც შეისწავლის და იკვლევს სამთო ამწევი მანქანების, წყალსაქცევი, სავენტილაციო და ტექნოლოგიური დანადგარების ელექტროტექნიკურ ნაწილს, ამჟამად ვითარდება მეცნიერებისა და ტექნიკის უახლესი მიღწევების გამოყენებით. სამთო ელექტრომექანიკის მიმართულებით ამჟამად ასეთი მეცნიერებისა და ტექნიკის უახლესი დარგია პლაზმური ტექნოლოგია. სამთო ამწევი მანქანების, წყალსაქცევი, სავენტილაციო და ტექნოლოგიური დანადგარების წარმოებასა და ექსპლუატაციაში პლაზმური ტექნოლოგია შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას ლითონების საჭრელად, გაცვეთილი დეტალების აღსადგენად, მყარი ქანების მოსანგრევად, მყარი ქანებისაგან სამშენებლო მასალების დასამზადებლად, ღრმა ბურღვისათვის, მეტალურგიაში, ნანო მასალების მისაღებად და ასე შემდეგ. მეცნიერების ეს დარგი ამჟამად განვითარების სტადიაშია და ამიტომ ამ მიმართულებით აუცილებელია:

1. სამთო საქმეში პლაზმური ტექნოლოგიების გამოყენების არის დადგენა;
2. პლაზმური ტექნოლოგიების სამთო საქმეში გამოყენებისთვის შესაბამისი პლაზმური ჭავლის ფორმირების ხერხების შექმნა;
3. სამთო ქანებისა და ტექნოლოგიური დანადგარების დეტალების დასამუშავებელი პლაზმატრონების შექმნა;
4. სამთო ქანებისა და ტექნოლოგიური დანადგარების დეტალების დასამუშავებელი მძლავრი, ენერგოდამზოგი და ეკოლოგიურად უსაფრთხო პლაზმური დანადგარის დამუშავება;
5. სათანადო პლაზმური ტექნოლოგიების დამუშავება.

მოცემულ ნაშრომში სამთო ელექტრომექანიკის მიმართულებით პლაზმური ტექნოლოგიის გამოყენების პერსპექტიულ არეებად მიჩნეულია:

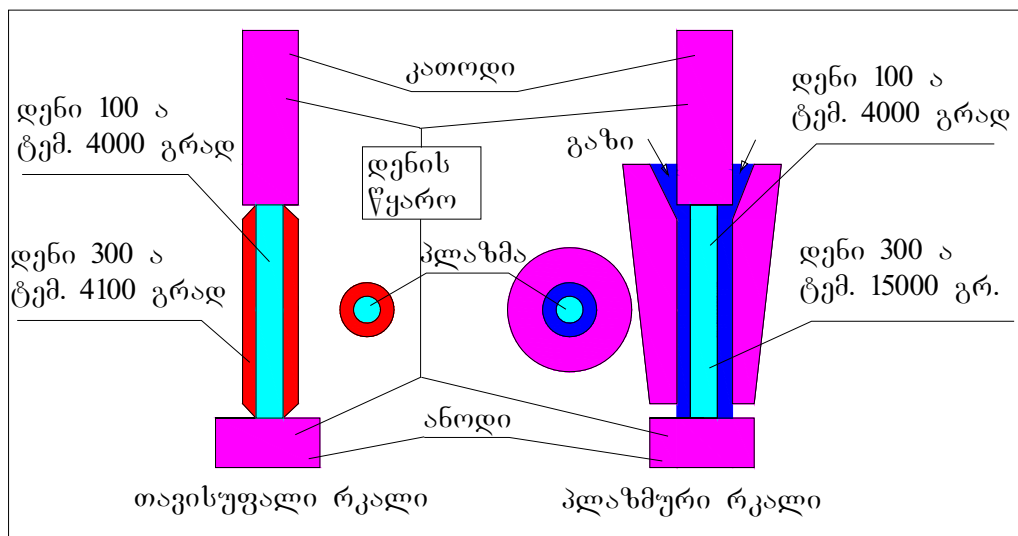
1. ლითონების პლაზმური ჭრისა და შედუღების გამოყენება სამთო ამწევი მანქანების, წყალსაქცევი, სავენტილაციო და ტექნოლოგიური დანადგარების წარმოებაში;
2. პლაზმური ჭრის, შედუღების, დაფრქვევისა და დადუღების გამოყენება სამთო ამწევი მანქანების, წყალსაქცევი, სავენტილაციო და ტექნოლოგიური დანადგარების რემონტისას;
3. პლაზმური ჭავლის გამოყენება მყარი ქანების მოსანგრევად;
4. პლაზმური ჭავლის გამოყენება მყარი ქანებისაგან სამშენებლო მასალების დასამზადებლად და მოსაპირკეთებლად;
5. პლაზმური ბუღრვა;
6. სამთო მომპოვებელი ინდუსტრიის ნარჩენების გადამუშავება;
7. პლაზმური ნანო ტექნოლოგიების გამოყენება სამთო დანადგარების წარმოებაში.

§12. რა არის უკვე ცნობილი ამ პრობლემის შესახებ

პლაზმური ტექნოლოგიების გამოყენება დაიწყო გასული საუკუნის 60-იანი წლებიდან და სწრაფად განვითარდა მეცნიერებისა და ტექნიკის დარგში. ამჟამად პლაზმური ტექნოლოგიები მეცნიერების ერთერთი ძირითადი პრიორიტეტია [24-105]. ჩვენ ამ თავში შევეცადეთ გაგვეჩვენოთ პლაზმის არსი, ამ ტექნოლოგიების ძირითადი მიღწევები პლაზმის ინდუსტრიაში და დაგვედგინა სამთო საქმისა და მის მონათესავე დარგების ის არეები, სადაც პერსპექტიულია პლაზმური ტექნოლოგიების გამოყენება და გამოგვევლინა ის სამეცნიერო პრობლემები, რომელთა გადაწვეტა მოგვცმდა მისი ამ დარგში გამოყენების საშუალებას. ხოლო შემდგომ პარაგრაფებში მოცემულია ამ პრობლემების კვლევებისა და აქ დასმული ამოცანების გადაწყვეტის შედეგები. ამ ანალიზში ძირითადად გამოყენებულია [24-105] ნაშრომებში მოცემული მასალები.

პლაზმა არის ნივთიერების მეოთხე მდგომარეობა (მყარი, თხევადი, გაზობრივი და პლაზმა), რომელიც წარმოადგენს ნივთიერების დამუხტული და ნეიტრალური ნაწილაკების ერთობლიობას. პლაზმას უკავია სამყაროს 99% და მას მრავალი გამოყენება აქვს. პლაზმის გამოყენება ტექნოლოგიებში მეცნიერების უახლესი მიღწევაა და ერთერთი

მისი პირველი პრიორიტეტია. პლაზმა გამოიყენება ინდუსტრიის მრავალ დარგში. ამ ნაშრომის მიზანია სამთო მომპოვებელ მრეწველობაში ტექნოლოგიის ახალი მიმართულების - პლაზმური ტექნოლოგიის განვითარება. ცნობილია პლაზმის მიღების მრავალი ხერხი [1-105]. ამათგან სამთო საქმეში გამოყენებადი პლაზმური ტექნოლოგიები ძირითადად დაფუძნებულია ელექტრო-რკალურ პლაზმაზე, რომლის მიღების პრინციპი ახსნილია ნახაზზე (ნახ.1)



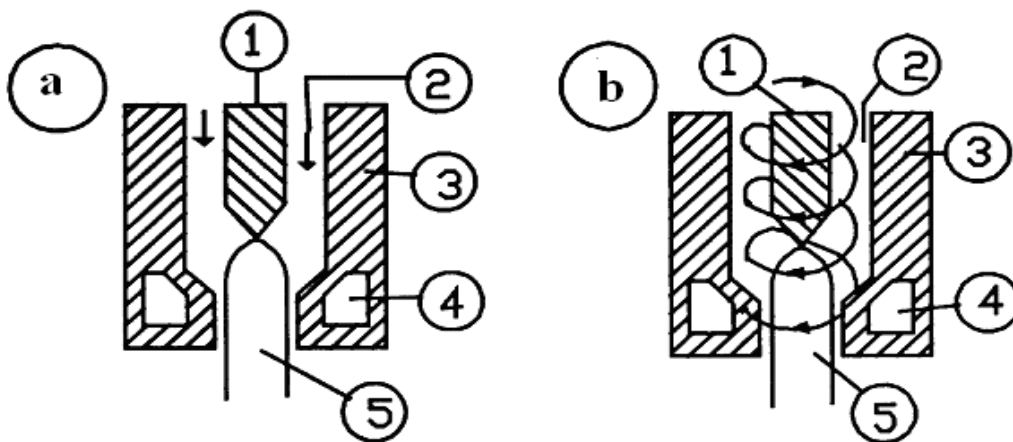
ნახაზი 1. პლაზმატრონის მოქმედების პრინციპი.

ვთქვათ ანოდსა და კათოდს შორის ანთია თავისუფალი რკალი რომლის დენია 100 ამპერი და ტემპერატურა 4000⁰ გრადუსი. ამის შემდეგ დენი გაეზარდეთ 300 ამპერამდე. ამით მოიმატებს რკალის განივკვეთის ფართობი, ტემპერატურა კი მოიმატებს მცირედ, ვთქვათ გახდება 4100⁰ გრადუსი. მაგრამ თუ რკალს შემოვსახდვრავთ ნაცმით, მაშინ რკალი ვერ გაფართოვდება და იმატებს ტემპერატურა. მივიღებთ პლაზმურ ჭავლს (4000-20000⁰ გრადუსი), რომლის გამოყენებაც შეიძლება მრავალი ტექნოლოგიური დანიშნულებით.

რკალი ეს არის თვითმჭერი ელექტრული განმუხტვა წარმოქმნილი ელექტროდებზე ძაბვის ვარდნით. დენის სიმკვრივე რკალში მაღალია. რკალს ახასიათებს მაღალი სიკაშკაშე და რადიაციული გამოსხივება. ეს

არის მაღალტურბულენტური განმუხტვის პროცესი და მდგრადობის დარღვევა იწვევს რკალის ჩაქრობას. ამ გარემოების გამო უნდა შემოვიდეს რკალის სტაბილიზაციის მექანიზმები. სტაბილიზაცია გულისხმობს შეიქმნას და შენარჩუნდეს ე.წ. სასაზღვრო პირობები, რომლებიც უზრუნველყოფენ რკალის მდგრად მდგომარეობაში ყოფნას. აგრეთვე ნიშნავს რკალის სვეტის შეკუმშვას რაც განაპირობებს მასში დენის უწყვეტ გავლას. ღია ტიპის რკალის სტაბილიზაცია ხდება მხოლოდ ბუნებრივი კონვექციით. სხვა სახის სტაბილიზაცია გულისხმობს დამატებითი მექანიზმების ჩართვას როგორცაა წყლის ან გაზის ნაკადები, კამერის კედლები და გარე მაგნიტური ველი.

პლაზმატრონი არის მოწყობილობა რომელიც ახდენს რკალის სტაბილიზებას. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ის კუმშავს რკალს, ეფექტურად აცივებს რკალის გარე ფენას და განსაზღვრავს რკალის ტრაექტორიას. გაზის ნაკადით სტაბილიზაცია არის მარტივი და ხშირად გამოყენებადი მეთოდი (ნახ. 2). ამ მეთოდით, მდოვრე ცივი აირის ნაკადის გარე ფენა შემორაგავს რკალის სვეტს და კუმშავს მას. ნაკადი შეიძლება იყოს გრიგალისებრი (რადიალური) და ღერძული, რაც დამოკიდებულია ჩაწოდების ხერხზე.



ნახაზი 2. პლაზმური ნაკადის გაზით სტაბილიზაციის სქემები: *a*, სტაბილიზება გაზის აქსიალური ნაკადით; *b*, სტაბილიზება გაზის

რადიალური ნაკადით; 1- კათოდი; 2- გაზის ნაკადი; 3- ანოდი-საქშენი; 4- გამაცივებელი არხი; 5- პლაზმის ნაკადი (პლაზმური ჭავლი).

პირველ შემთხვევაში გრიგალისებრი (რადიალური) ნაკადი წარმოქმნის ცენტრიდანულ ძალებს, რომლებიც გადაადგილებენ ცივ აირს ანოდის კედლის მიმართულებით, ხოლო ნაკადის ღერძული კომპონენტი ივსება ცივი აირის ნაკადით რაც იწვევს რკალის ძლიერ შეკუმშვას, ე.ი. იზრდება რკალის ენერჯის სიმკვრივე და ტემპერატურა. როგორც წესი რკალის სტაბილიზების ეს მეთოდი გამოიყენება ჭრის და დაფრქვევის პლაზმატრონებში, სადაც რკალის სიგრძე არის მოკლე, მაგრამ თვითონ რაკალი უფრო ინტენსიურია.

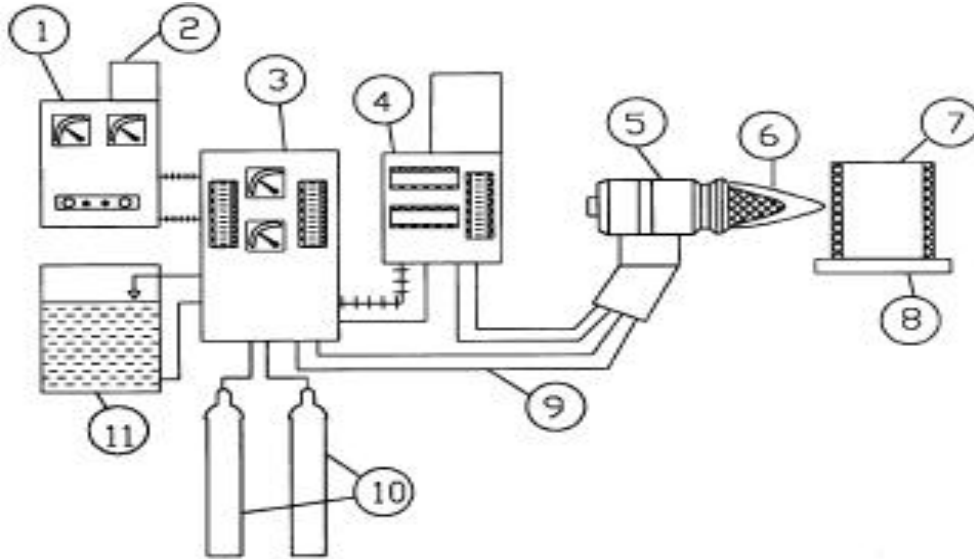
მეორე შემთხვევაში ანუ ე.წ. ღერძულად დასტაბილირებულ რკალს აქვს ლამინალური ნაკადი და აირის ცივი ნაკადი მიისწრაფის მოიცვას რკალის ცხელი მილი და მაშასადამე რაკალი უფრო გრძელია ვიდრე პირველ შემთხვევაში. ასეთი ტიპის პლაზმატრონები გამოიყენება სხადასხვა სახის მასალების დასამუშავებლად.

§12.1 ინდუსტრიული პლაზმატრონები

ინდუსტრიული დანიშნულების პლაზმური დანადგარი ძირითადადში შედგება პლაზმატრონისაგან (სადაც ფორმირდება პლაზმური ნაკადი) რომელიც იკვებება მუდმივი დენის ტიპის კვების წყაროსაგან და მაღალი ელექტრული სიხშირის მქონე ოსცილატორისაგან, რომელიც უზრუნველყოფს სასტარტო განმუხტვას პლაზმატრონის ელექტროდებს შორის. დამხმარე მოწყობილობებია: აირის ბალონები, თუ პლაზმამაფორმირებელ აირად არ ვიყენებთ ჰაერს (ჰაერის მიწოდება პლაზმატრონში ხდება კომპრესორის მეშვეობით), წყლის მიწოდების მარტივი სისტემა პლაზმატრონის კათოდისა და საქშენის გასაცივებლად თუ პლაზმატრონის სიმძლავრე მეტია 10კვტ-ზე.

კვების წყაროს, პლაზმატრონის და დამხმარე მოწყობილობების პარამეტრების სათანადო შერჩევა უზრუნველყოფს პლაზმური დანადგარის გამართულ მუშაობას. ნახაზ 3-ზე ნაჩვენებია ტიპური პლაზმური დაფრქვევის დანადგარი. ცხრილ 1-ში მოყვანილია მსოფლიოში ცნობილი

ფირმების მიერ გამოშვებული პლაზმური დანადგარების ძირითადი ტექნიკური მახასიათებლები და მათი გამოყენების სფეროები.



ნახაზი. 3. პლაზმური დაფრქვევის დანადგარის სქემატური გამოსახულება: 1- მუდმივი დენის კვების წყარო; 2- კვების წყაროს მართვის პულტი; 3- გაზის მიწოდების მართვის პულტი; 4- ფხვნილის მიწოდების მექანიზმი; 5- პლაზმატრონი; 6- პლაზმური ჭავლი; 7- დასამუშავებელი დეტალი; 8- დასამუშავებელი დეტალის დამჭერი; 9- შლანგები; 10- გაზის ბალონები.

ცხრილი 1. მაღალი სიმძლავრის ინდუსტრიული პლაზმატრონები

დამამზადებელი ფირმები	სიმძლავრე (MW)	ვოლტ/ამპერი (V/A)	აირის ხარჯი Nm ³ /hr	კათოდის ტიპი	ელექტროდების მასალა	გამოყენების სფერო
Metko	0,1	40/2000	5 (Ar)	ღერო	ვოლფრამი-სპილენძი	პლაზმური დაფრქვევა
Ionarc	0,35	300/1200	Ar	ღერო	ვოლფრამი-სპილენძი	ციროკონიუმის წარმოება
Linde-Retech	0,7	250/3000	60	მილისებრი	სპილენძი	პლაზმური გადაღობა
Daido	1.0	250/5000	--	ღერო	ვოლფრამი-სპილენძი	ნარჩენების გადამუშავება
Westinghouse	2.0	1000/2000	250	მილისებრი	სპილენძი	ნარჩენების გადამუშავება
PEC	4.5	900/5000	175	მილისებრი	სპილენძი	გახურება ციცხვში

Tioxide	5.0	1700/3500	2000	მილისებრი	სპილენძის ნაჭერი	ტიტანის ორჟანგი
Aero-Spatiale	5.0	2630/1900	1850	მილისებრი	სპილენძი	ფერო-მარგანეცი
SKF	7.0	3500/2200	1500	მილისებრი	სპილენძი	აღდგენა მტკრიდან
Voest-Alpine	7.5	830/12000	– (Ar)	ღერო	ვოლფრამი-სპილენძი	ფოლადის გადაღობა
Huls	8.0	7000/1200	4000	მილისებრი	ფოლადი/სპილენძი	ქიმიური სინთეზი

ძირთაღში, დიდი სიმძლავრის მქონე პლაზმატრონები ორგვარია: ესენია პლაზმატრონები მილისებრი და ღეროსებრი ელექტროდებით.

პლაზმატრონი შესაძლებელია იყოს პირდაპირი ქმედების, როდესაც რკალი ანთია პლაზმატრონის ელექტროდსა და დასამუშავებელ დეტალს შორის, და ირიბი ქმედების, როდესაც რკალი ანთია პლაზმატრონის კათოდსა და პლაზმატრონის ანოდს შორის. ამასთან პირდაპირი ქმედების პლაზმატრონი შეიძლება იყოს პირდაპირი პოლარობის პლაზმატრონი, როდესაც ანოდი არის დასამუშავებელი დეტალი და უკუპოლარობის პლაზმატრონი, როდესაც დასამუშავებელი დეტალი არის კათოდი.

უფრო დიდი გამოყენება აქვს პირდაპირი პოლარობის პლაზმატრონებს.

პლაზმატრონის ნორმალური ფუნქციონირებისათვის აუცილებელია კვების წყარო აკმაყოფილებდეს მთელ რიგ პირობებს: შესაძლებელი უნდა იყოს კვების წყაროს დენისა და ძაბვის რეგულირება, შესაძლებელი უნდა იყოს კვების წყაროს მიმდევრობით ან პარალელური ჩართვა, შესაძლებელი უნდა იყოს როგორც პლუსი, ასევე მინუსი მომჭერების დამიწება და, რაც მთავარია, კვების წყაროს უნდა ქონდეს სპეციფიკური სტატიკური და დინამიური მახასიათებლები და ვოლტამპერული მახასიათებელი. ჩვენი გამოცდილება აჩვენებს, რომ საუკეთესოა მართკუთხა ვოლტამპერული მახასიათებელი.

რკალის მახასიათებელი ძირითადად უარყოფითია, ესე იგი დენის გაზრდისას მცირდება ძაბვა და დენის შემცირებისას კი ძაბვა იზრდება. ამიტომ კვების წყაროს ვოლტამპერული მახასიათებელი უნდა იყოს დამრეცი. კვების წყაროს მოკლედ ჩართვის დენი მცირედ უნდა აღემატებოდეს მუშა დენს და უქმი სვლის ძაბვა მცირედ უნდა

აღმატებოდეს მუშა ძაბვის მაქსიმალურ მნიშვნელობას. ამ პირობებს ყველაზე უფრო კარგად აკმაყოფილებს კეების წყარო მართკუთხა ვოლტამპერული მახასიათებელით, რომელიც დამუშავებულია ჩვენს მიერ და აღწერილია ქვემოთ.

§1.2.2. პლაზმატრონი გამოყენებული გაზები

პლაზმატრონი პლაზმამაფორმირებელი აირის ხარჯი და დენის სიმძლავრე სათანადოდ უნდა იყოს გაწონასწორებული, რათა მივიღოთ მდგრადი რკალი. აირის ნაკადი გულდასმით უნდა იყოს შერჩეული რადგან ელექტრული დენი, შესაბამისად ელექტრული რკალი წარმოიქმნება ამ ნაკადში და აირის მისი ჩაქრობის საშიშროება ან პირიქით არა საკმარისი მიწოდებისას ვერ მიიღწევა სათანადო ე.წ. სითბური პინჩ-ეფექტი რაც უზრუნველყოფს რკალის გამოდევნას საქმნიდან. შეუსაბამო მიწოდება აირის ხარჯისა და ელექტრო ენერჯისა პლაზმატრონი იწვევს ელექტროდების ძლიერ დაზიანებას. ყველაზე მეტად გამოყენებადი პლაზმამაფორმირებელი არიებია არგონი, ჰელიუმი, აზოტი, ჰაერი და წყალბადი. პლაზმამაფორმირებელი აირის შერჩევა დამყარებულია შემდეგ თვისებებზე; სითბოშემცველობა (ენტალპია), რეაქტიულობა და ღირებულება. ენერჯის შემცველობა ორატომიან აზოტსა და წყალბადში უფრო მაღალია ვიდრე არგონსა და ჰელიუმში. აგრეთვე აირის შერჩევა ხდება იმისდა მიხედვით თუ რა მასალის დამუშავება გვინდა. მაგალითად ფერადი ლითონების შედუღებისას საჭიროა ინერტული გარემო, რათა არ მოხდეს რეაქცია ჟანგბადთან, ამ შემთხვევაში იყენებენ ინერტულ აირებს როგორცაა არგონი. რეაქტიული აირები როგორებიცაა წყალბადი, ჟანგბადი(ჰაერი) და აზოტი გამოიყენება რათა მიღწეულ იქნას დამატებით პლაზმის თბოშემცველობის ამაღლება, ჟანგვის პროცესის ინტენსიფიცირება და დეტალის ზედაპირის აზოტირება.

არგონი გამოიყენება პლაზმურ დანადგარში, როგორც პლაზმამაფორმირებელი აირი, თბოგადამცემი გარემო და დამცავი ინერტული შრე. ის აგრეთვე საჭიროებს შედარებით დაბალ ძაბვას ელექტრული რკალის სვეტის შენარჩუნებისათვის ხოლო მისი დაბალი სითბოგამტარობა ხელს უწყობს ვიწრო, შეკუმშული რკალის სვეტის

ფორმირებას და შესაბამისად წარმოქმნება უფრო “ცხელი” რკალი. თუ ამასთანავე არგონი გამოიყენება როგორც დამცავი აირი, მაშინ რკალი შედარებით გაფართოვდება გახდება რა ნაკლებად კონცენტრირებული და ინტენსიური. თუ არგონი არ არის გამოყენებული როგორც დამცავი შრე მაშინ რკალი უფრო დაჭიმულია და შეკუმშული რადგან გარშემომცველი ჰაერი შეიცავს ჟანგბადს და აზოტს რომლებიც არგონთან შედარებით ძნელად იონიზირდებიან.

წყალბადი უპირველეს ყოვლისა გამოიყენება როგორც განმუხანგველი აგენტი. მისი ფიზიკური თვისებები შესანიშნავი საშვალეა პლაზმური ნაკადის სითბოშემცველობის და სითბოგადაცემის გაზრდისათვის.

შედულებისა და დნობის პროცესში წყალბადი გამოიყენება მასალაში პლაზმის ჭავლის შეღწევადობისა და დენადობის გასაზრდელად და აგრეთვე ზედმეტი ჟანგბადის მოსაცილებლად.

§1.2.3. ძაბვების განაწილება ელექტრორკალურ პლაზმურ ნაკადში

პლაზმური ჭავლი შესაძლებელია მივიღოთ პირდაპირი ქმედების პლაზმატრონებში, სადაც ელექტრული რკალი ანთია კათოდსა და დასამუშავებელ ლითონს შორის (ეს უკანასკნელი არის ანოდი) და ირიბი ქმედების პლაზმატრონებში სადაც ელექტრული რკალი ანთია კათოდსა და საქშენს შორის, ამ შემთხვევაში საქშენია ანოდი.

პირდაპირი ქმედების პლაზმატრონებში პლაზმური ჭავლის ოპერირებისათვის საჭიროა დაბალი პლაზმამაფორმირებელი აირის ნაკადი და შედარებით მაღალი ძაბვა (ცხრილი 2).

პლაზმური რკალის საერთო ძაბვა(Varc) ტოლია რკალის სხვადასხვა ადგილებზე მოსული ძაბვათა ვარდნის ჯამისა. ესენია: კათოდის მიდამო(Vc); საქშენის არხის შესასვლელი მიდამო (Vcn); საქშენის არხი (Vn); საქშენის არხის გამოსასვლელის მიდამო (Van) და ანოდის მიდამო. ძაბვის ვარდნის სიდიდე კათოდსა და ანოდზე უმნიშვნელოა პლაზმური რკალის ჯამურ ძაბვასთან შედარებით. ვოლფრამის კათოდის შემთხვევაში Vc ტოლი 5 - 8 ვოლტის და სპილენძის საქშენისას Va დაახლოებით იგივეა. ელექტრული ველი საქშენის შესასვლელში და მის არხში არის

დაახლოებით ერთიდაიგივე. საქშენის მიდამოში რკალის სვეტი ცილინდრული ტიპისაა და მისი დიამეტრი ნაკლებია ვიდრე საქშენის შიგა დიამეტრი. საქშენის გარეთ რკალის დიამეტრი იზრდება, ხოლო ნაკადის სიჩქარე და ტემპერატურა კლებულობს.

შესაძლებელია გაკეთდეს შემდეგი ზოგადი დასკვნები:

1. პლაზმური რკალის დაბვა დამოკიდებულია საქშენის ზომაზე (დიამეტრი, სიგრძე, მანძილი კათოდამდე და ა.შ.), რკალის დენზე, აირის ნაკადის შემადგენლობასა და ხარჯზე, საქშენსა და დასამუშავებელ მასალას შორის მანძილზე;
2. ერთიდაიგივე პლაზმამაფორმირებელი აირისათვის, პლაზმური რკალის შეკუმშვასთან ერთად იზრდება მისი ინტენსივობა. შეკუმშვის ხარისხი იზრდება საქშენის გასასვლელის შემცირებით ან პლაზმამაფორმირებელი აირის ნაკადის გაზრდით;
3. ერთიდაიგივე დენის შემთხვევაში ორატომიანი პლაზმამაფორმირებელი აირების შემთხვევაში პლაზმური რკალის დაბვა იქნება უფრო მაღალი რადგან ისინი მაღალი სითბოშემცველობისანი არიან და ამიტომ მეტი ენერგიაა საჭირო იონიზაციის პროცესისათვის;
4. გაზის ერთიდაიგივე ტემპერატურების შემთხვევაში რკალის დანაკარგები იქნება თითქმის ერთიდაიგივე და ამის გამო უფრო მაღალი თბოშემცველობის გაზის გამოყენება იქნება უფრო ეფექტური.

ცხრილი 2. რკალის დაბვები პლაზმური ჭრისა და პლაზმური დაფრქვევის შემთხვევებში

გაზი	პირდაპირი ქმედების რკალი	ირიბი ქმედების რკალი
არგონი	110–300	25–50
აზოტი	150–400	60–100
არგონი და წყალბადი	130–350	80–100
აზოტი და წყალბადი	150–400	90–150

§1.2.4. პლაზმატრონის მარგი ქმედების კოეფიციენტი

განვიხილოთ პირდაპირი ქმედების პლაზმატრონი სადაც ანოდი დასამუშავებელი ლითონია. $P_{arc}(V_{arc} \cdot I_{arc})$ რკალის ელექტრული სიმძლავრეა და ის არის ჯამი კათოდზე გადაცემული სიმძლავრისა, პლაზმური რკალის გამოსხივების და კონვექციის სიმძლავრეებისა, საქმენზე გადაცემული სიმძლავრისა და ანოდზე ანუ დასამუშავებელ ლითონზე გადაცემული სიმძლავრისა. პლაზმატრონის დასამუშავებელი ლითონის გახურების მარგი ქმედების კოეფიციენტი ტოლია

$$h = (P_{work-piece}) / (V_{arc} \cdot I_{arc}).$$

პირდაპირი ქმედების პლაზმატრონში, დასამუშავებელი ლითონის გახურების მარგი ქმედების კოეფიციენტი ტოლია მიწოდებული ენერჯის 70–80% -ისა. პლაზმატრონის კონსტრუქციის და პლაზმა მაფორმირებელი აირის ხარჯის ოპტიმალური შეთავსების შემთხვევაში შესაძლებელია უფრო მაღალი პროცენტის მიღებაც. ირიბი ქმედების პლაზმატრონის მარგი ქმედების კოეფიციენტი ტოლია (დამოკიდებულია პლაზმაფორმირებელ აირზე) 40-50% - სა. ექსპერიმენტების საფუძველზე რომლებიც ჩატარდა ნოვოროსიისკში უდიდესი ქართველი მეცნიერის არჩილ ქუთათელაძის მიერ დადგინდა ღეროს ტიპის კათოდიანი პლაზმატრონის მ.ქ.კ. -ის η გამოსათვლელი ემპირიული ფორმულა

$$\frac{1-\eta}{\eta} = 5,85 \times 10^{-5} \left[\frac{I^2}{Gd} \right]^{0.265} (pd)^{0.3} \left[\frac{G}{d} \right]^{-0.265} \left[\frac{l}{d} \right]^{0.5},$$

სადაც:

I რკალის დენია (A);

G აირის ხარჯი (kg/s);

d დიამეტრია, l საქმენის სიგრძეა (m);

p არის წნევა რკალის არეში, Pa.

ფორმულა მისაღებია შემდეგ საზღვრებში $5 \text{ mm} < d < 80 \text{ mm}$; $1 \text{ atm} < p < 50 \text{ atm}$; $5 \text{ g/s} < G < 5000 \text{ g/s}$; $5 \text{ kW} < P < 50 \text{ MW}$; and $I < 6000 \text{ A}$.

§1.2.5. პლაზმატრონის ელექტროდები

კათოდი არის ელექტრული რკალის განმუხტვის ელექტრონების წყარო. ის ღებულობს მაღალ ტემპერატურას ელ. რკალისაგან და ელექტრონები გამოიყოფიან თერმოელექტრონულად. კათოდური ლაქა ანუ ადგილი სადაც ელ. რკალი მთავრდება კათოდზე დამოკიდებულია კათოდის მასალაზე, მის გაცივებაზე და რკალის დენზე. როდესაც კათოდი დამზადებულია ძნელდნობადი ლითონისაგან, საკმარისად გაცივებულია, რკალი შეკუმშულია ამასთან კათოდის დენის სიმკვრივე 100 ა/მმ^2 -ზე მეტია და ის ახურებს მხოლოდ კათოდის დაბოლოებებს. სხვა სახის კათოდების შემთხვევაში ელ. რკალი გადაადგილდება კათოდის ზედაპირზე მაგნიტური ველის ან გრიგალური ტიპის ნაკადის მეშვეობით, ამ შემთხვევაში კათოდი ინტენსიურად ცივდება წყლით.

ტრადიციულად კათოდს ამზადებენ ვოლფრამისაგან, თორირებული ვოლფრამისაგან, გრაფიტისაგან, სპლენძისაგან, ცირკონიუმისაგან და ჰაფნიუმისაგან. ვოლფრამის ელექტროდები ოპერირებენ ინერტულ გარემოში ამიტომ პლაზმამაფორმირებელ აირად იყენებენ არგონს და აზოტს. მცირე სიმძლავრეების შემთხვევაში კათოდის ბოლოს აქვს კონუსის ფორმა, ხოლო დიდი სიმძლავრეების შემთხვევაში კათოდის ბოლოს აქვს წაკვეთილი კონუსის ფორმა.

როდესაც პლაზმამაფორმირებელ აირად გამოიყენება ჰაერი ელექტროდი (კათოდი) მზადდება ჰაფნიუმისაგან ან ცირკონიუმისაგან. ამ ელექტროდების შემთხვევაში მოქმედების პროცესში ელექტროდის წვეროზე წარმოიქმნება ჟანგეულის დანაფარი, რომელიც დაბალ ტემპერატურებზე წარმოადგენს იზოლატორს. ამიტომ ასეთი კათოდის ნორმალური ფუნქციონირებისათვის აუცილებელია მაღალი ტემპერატურა, მისი ჟანგეულის დნობის ტემპერატურასთან მიახლოებული ტემპერატურა.

არათერმოელექტრული კათოდები გამოიყენებიან დიდი სიმძლავრეებისა და ელექტროდების ჟანგბადის ან სხვა ქიმიურად აქტიურ გარემოში ფუნქციონირებისათვის. ისინი არიან ღრუ, რგოლის ან ბრტყელი ფორმის და კათოდურ ლაქას ხელოვნურად გადაადგილებენ კათოდის ზედაპირზე მაგნიტური ველების ან მექანიკური (გაზის ნაკადი, ელექტროდების

ბრუნვა) ზემოქმედების საშუალებით. მისი მდგრადობა შედარებით დაბალია და რკალის ძაბვა კი მაღალი.

პლაზმატრონებში საქშენზე(ანოდზე) მოსული სითბოგადაცემა საკმაოდ მაღალია 160 ვტ/მმ². ამიტომ იგი ძირითადად მზადდება მაღალხარისხოვანი სპილენძისაგან, რომელსაც გააჩნია დიდი თბოგადაცემა. ასევე გამოიყენება გრაფიტი და ძნელდნობადი ლითონები. სხვა მასალები, რომლებსაც გააჩნია დაბალი სითბოგადაცემა საგრძნობლად ამცირებს საქშენის მუშაობის რესურს. საქშენის კონსტრუქცია განსაზღვრავს პლაზმური რკალის სვეტის მდგრადობას, ხოლო მისი გამოსასვლელი პლაზმური ნაკადის სიმკვრივეს. პლაზმატრონის მარგიქმედების კოეფიციენტი მით უფრო მაღალია რაც უფრო გაზრდილია რკალის შეკუმშვა. ძირითადში გვხვდება ორი სახის საქშენები: სიგრძისა და დიამეტრის მცირე ფარდობით $L/D = (\sim 1)$ და დიდი ფარდობით $L/D > 1$

პირველი სახის ანოდს აქვს უფრო ფართო დიამეტრი და გამოიყენება პირდაპირი ქმედების პლაზმატრონში.

მეორე ტიპის საქშენის თბური დატვირთვა უფრო დიდია და ის გამოიყენება ირიბი ქმედების პლაზმატრონებში.

§1.2.6. პლაზმური ჭრა და შედუღება

პლაზმური ჭრის და შედუღების პლაზმატრონები გამოიყენება უჟანგავი ფოლადის, ფერადი ლითონების, მხურვალმტკიცე შენადნობის დასამუშავებლად და ასე შემდეგ. პლაზმური ჭრის მთავარი უპირატესობა გახლავთ თითქმის უხიწვო კონვეირული ჭრა. აგრეთვე ჭრის ზონის მინიმალური სისქე და მინიმალური თბური ზემოქმედების ზონა. პლაზმამაფორმირებელ და დამცავ აირად არგონის გამოყენების შემთხვევაში ჭრისა და შედუღების ზედაპირზე დაბალია წილის წარმონაქმნის მასშტაბი. პლაზმური ჭრის შემთხვევაში ძირითადად გამოიყენება პირდაპირი ქმედების პლაზმატრონები, როდესაც რკალის ანოდს წარმოადგენს დასამუშავებელი დეტალი. 100კვტ სიმძლავრის პლაზმატრონების საექპლუატაციო ტექნიკური მონაცემები მოყვანილია პირველ ცხრილში. ამ ცხრილში მოყვანილია აგრეთვე წყლის ქვეშ

პლაზმური ჭრის საექსპლუატაციო ტექნიკური მონაცემები. პლაზმური ჭრის მარგიქმედების კოეფიციენტი იზრდება მასალის სისქისა და ჭრის სინქარის გაზრდით. წყლის ქვეშ პლაზმური ჭრის მარგი ქმედების კოეფიციენტი 10–20% - ით ნაკლებია, ვიდრე ჰაერზე პლაზმური ჭრის შემთხვევაში. პლაზმური ჭრის თბური ზეგავლენის ზონა ჰაერზე ჭრის შემთხვევაში 300 მიკრონია. წყლის ქვეშ პლაზმური ჭრის შემთხვევაში ეს ზონა საგრძნობლად კლებულობს.

ჰაერის პლაზმატრონებში პლაზმამაფორმირებელ აირედ იყენებენ ჰაერს. ამ შემთხვევაში კათოდად გამოყენებულია ჰაფნიუმი, ნიობიუმი, სპილენძი ან ცირკონიუმი. ჰაერის გამოყენება საგრძნობლად ამცირებს პროცესის თვითღირებულებას, მაგრამ ელექტროდების ექსპლუატაციის ხანგრძლივობა მცირდება და პლაზმური ნაკადი შედარებით ნაკლებად სტაბილურია განსაკუთრებით წარმოქმნისას. პლაზმური ჭრის ზუსტი თვითღირებულება დამოკიდებულია რამდენიმე ფაქტორზე მათ შორის სამუშაოს საერთო მოცულობიზე.

ფარდობით ერთეულებში 12 მმ სისქის ფოლადის ფურცლების ჭრის შედარებითი ღირებულება ასეთია:

აცეტილენის საჭრისით – 4.5

არგონის პლაზმით ----- 5.4

ჰაერის პლაზმით ----- 1.5

პლაზმური რკალით შედუღება (პ.რ.) უფრო განახლებული ვერსიია ელექტრორკალური შედუღებისა ვოლფრამის ელექტროდით დამცავი აირის გარემოში (ვ.დ.ა.გ.). “ვ.დ.ა.გ.” შედუღებას აქვს ღია ტიპის რკალი რომელიც არასტაბილურია და ახასიათებს გამრუდება სხვადასხვა მიმართულებით დაბალი დიაპაზონის დენებში. დენის გაზრდისას იზრდება რკალის სიმძლავრე და მისი დიამეტრიც. ეს იწვევს კონცენტრირებული სიმძლავრის შემცირებას დასამუშავებელ ლითონის შედუღების არეში, რის შედეგადაც ვლებულობთ დიდი ზომის შენადუღ ნაკერს და ფართო გახურების ზონას. შედუღების პლაზმატრონში “ვ.დ.ა.გ.” შედუღების ხელსაწყოსგან განსხვავებით არის ორი ნაკადი რომელიც იძლევა

კონცენტრირებულ პლაზმურ რკალს რომელსაც აქვს ვიწრო სვეტისებრი ფორმა. იგი დასტაბილირებულია ელექტროდის ღერძის გასწვრივ და უფრო ინტენსიურია ვიდრე “ვ.დ.ა.გ.” შედუღების რკალი. სვეტის ტემპერატურაა 10,000-20,000 K შედარებით 8,000-14,000 K.

პლაზმური შედუღების, “ვ.დ.ა.გ.” შედუღების და ელექტრონულ-სხივური შედუღების(ე.ს.) შედარება მოცემულია მე-3 ცხრილში. როგორც ცხრილიდან ჩანს პლაზმური შედუღება ზოგიერთი მონაცემით ჩამოუვარდება ელექტრონულ-სხივურ შედუღებას, მაგრამ ღირებულების თვალსაზრისით, მასზე გაცილებით მომგებიანია.

ცხრილი. 3 შედუღების პროცესის შედარება

პარამეტრები	გაზის გარემოში ვოლფრამის ელექტროდით შედუღება	პლაზმური შედუღება	ელექტრონულ-სხივური შედუღება
ღნობის სიღრმე (მმ)	0.5–5	0.1–10	0.5–200
მაქსიმალური სიმძლავრე (კვ)	4–6	15	100
კუთრი სიმძლავრე (ვა/მ ³)	10 ⁸	10 ⁸ –10 ¹⁰	10 ¹³
დანადგარის ზომა	პატარა	საშუალო	ძალიან დიდი
ხარჯის შედარება	1	1.2–2	5–10
შედუღების სიჩქარე	ნელი	საშუალო	ჩქარი
დეფორმაცია	მაღალი	ზომიერი	ძალიან დაბალი

ცხრილი 4. პლაზმური ჭრის ზოგიერთი ექსპერიმენტული მონაცემი

ოპერირების გარემო	ოპერირება ჰაერში			ოპერირება წყლის ქვეშ		
	ნახშირბადმცირე (რბილი) ფოლადი	უჟანგავი ფოლადი	უჟანგავი ფოლადი	უჟანგავი ფოლადი	Al	U
სისქე (მმ)	55	50	125	20	19	21
პლაზმამაფორმირებელი აირი	N ₂	N ₂	N ₂ + H ₂	Ar	N ₂	Ar
აირი ხარჯი ლიტრი წამში	50	50	50 + 5	40	40	35
ძაბვა (ვოლ.)	150	140	210	150	128	180
დენი (ამპ.)	500	550	550	250	320	200
შესასვლელის	75	77	115	38	41	36

სიმძლავრე (კვტ)						
ჭრის სიჩქარე(მმ/წთ)	200	300	100	360	320	280
გაჭრის სისქე(მმ)	14	15	18	7	12	10
ჭრის მ.კ.კ. (%)	34	37	25	17	6	7

§1.2.7. პლაზმური დაფრქვევა

თანამედროვე მანქანა დანადგარების სხვადასხვა დეტალები და კვანძები ოპერირებენ ისეთ პირობებში სადაც ისინი უნდა იყვნენ ერთდროულად მექანიკურად მტკიცე და ცვეთისადმი გამძლე. ასეთი დეტალების ან კვანძების დამზადება ერთგვაროვანი მასალისგან თითქმის შეუძლებელია ან ძალიან ძვირად ღირებულია განსაკუთრებით სამთო საქმეში სადაც მანქანა დანადგარები დიდი ზომაწონის ლითონის კონსტრუქციებისაგან მზადდება. პლაზმური დაფრქვევის ტექნოლოგია ერთერთი ყველაზე ფართოდ გამოყენებადი ტექნოლოგიაა მასალების სხვადასხვა თვისებების (ცვეთამედეგი, კოროზიამედეგი და მხურვალმედეგი) მქონე ნივთიერებებით დაფარვის ინდუსტრიაში.

დასაფარი ნივთიერება ფხვნილის ან მავთულის სახით ჩაეწოდება პლაზმურ ნაკადში, ამ ნაკადის მაღალი ენტალპია და დიდი სიჩქარე საშუალებას იძლევა გახურებული ან გამდნარი დასაფარი ნივთიერების ნაწილაკები მაღალი სიჩქარით დატანილ იქნენ დასაფარ მასალაზე რომელიც ასევე ხურდება იმავე პლაზმური ნაკადით რაც უზრუნველყოფს დაფარვის მაღალ ხარისხს. პლაზმური დაფრქვევის მთავარი უპირატესობებია:

- შესაძლებელია ნებისმიერი ფხვნილის დაფრქვევა. დაფარვის სისქე მერყეობს რამოდენიმე მიკრონიდან თითქმის სანტიმეტრამდე;
- დასამუშავებელი დეტალის თავდაპირველი ტემპერატურა შესაძლებელია იყოს 500°C –ზე ნაკლები და დაფრქვევის ტემპერატურა იყოს 250 °C მცირე;
- შეუზღუდავია დასაფარი დეტალის ზომა და ფორმა და დაფრქვევის პროცესი შედარებით სწრაფია;

– ადგილი აქვს როგორც მექანიკურ ასევე მეტალურგიულ შეერთებას.

პლაზმური დაფრქვევისას გამოიყენება ირიბი ქმედების პლაზმატრონი (ნახ. 3.)

პლაზმური დაფრქვევისას, დანაფარის ხარისხი ურთიერთ დამოკიდებულია ბევრ პარამეტრზე (ცხრილი 4). ეს პარამეტრები დაკავშირებულია პლაზმასთან (კვების წყარო, პლაზმაწარმოქმნელი აირის ტიპი და მისი ნაკადის სიჩქარე, რკალის ტიპი, პლაზმატრონის კონსტრუქცია); ფხვნილთან (შედგენილობა, ფიზიკური თვისებები, დამზადების ხერხი, ნაწილაკების ზომა), ფუძესთან (შედგენილობა, ზედაპირის დამუშავება, ზედაპირის სიმქისე, ტემპერატურა), ფხვნილის მიწოდებასთან (მიწოდების სისტემის ტიპი, მიწოდების სიჩქარე, გადამტანი აირის ტიპი, ჩაწოდების კუთხე და ნახვრეტი) და დაფრქვევის პროცედურასთან (მანძილი პლაზმატრონსა და დასამუშავებელ ზედაპირს შორის, დაფრქვევის კუთხე, პლზმის გაზი, დაფრქვევის ატმოსფერო).

აუცილებელია დაფრქვევის პარამეტრების ოპტიმალური შერჩევა მაღალხარისხიანი დანაფარის მისაღებად ნებისმიერი სპეციფიკური გამოყენებისათვის.

ცვეთამედევი ფენით დაფარვა რომელიც მოიცავს ოქსიდებით, კარბიდებით და ნიტრიდებით დაფარვას, გამოიყენება საკისრების, საჭრისების, ფორმების, ყალიბების და სხვა მისთანა ზედაპირების დასაფარად.

მხურვალმტკიცე ფენით დაფარვა გამოიყენება ლითონების ზედაპირებზე სხვადასხვაგვარი ცხელი ნაკადებით მოსული სიმხურვალის შესამცირებლად. ამ შემთხვევაში დასაფარი მასალები შედგება MCrAlY-შენადნობის და ცირკონიუმის ჟანგებისაგან. მხურვალმტკიცე ფენით ფარავენ აირტურბინებს, შიდა წვის ძრავებს, რაკეტის საქშენებს და ა. შ. მხურვალმტკიცე მასალებით დაფარულ ფენას უნდა ჰქონდეს დაბალი თბოგამტარობა, ჟანგვის მაღალი წინააღმდეგობა და თბური დარტყმის გაუმჯობესებული მახასიათებელი.

პლაზმური დაფრქვევის სპეციალური ტექნოლოგია შეიქმნა დამცავი აირებით ატმოსფერულ გარემოში დასაფრქვევად. ეს ტექნოლოგია ცნობილია როგორც ჰაერ-პლაზმური დაფრქვევა. პლაზმური დაფრქვევა ჩვეულებრივ ატმოსფერულ გარემოში ხელსაყრელია ჟანგეულებისათვის. თუმცა მთავარი პრობლემა ლითონების, შენადნობების და ინტერლითონური ნაერთების პლაზმური დაფრქვევისას არის ზემოთ ჩამოთვლილი მასალებით ნარევი პლაზმური ნაკადის კონტაქტი ჰაერის ჟანგბადთან. შედეგად ვღებულობთ გაჭუჭყიანებულ ზედაპირს, ამიტომ შემოდის დამცავი მექანიზმები. ესენია კონტროლირებად გარემოში, ინერტულ გარემოში, ან ვაკუუმში დაფრქვევა. დაფრქვევა მიმდინარეობს დაბალი წნევის კამერაში ან ინერტული არის კამერაში. ე.წ. ვაკუუმ-პლაზმური დაფრქვევისას კამერიდან ჰაერი ამოქაჩულია მიკრონების დონემდე და შემდეგ სავსეა პლაზმური აირით მთელი დაფრქვევის განმავლობაში. პლაზმური დაფრქვევა უჟანგბადო გარემოში საშუალებას იძლევა დასაფარი ზედაპირი იყოს გახურებული მაღალ ტემპერატურამდე მთელი დაფარვის პროცესისას, რის შედეგადაც ხდება ზედაპირული დიფუზია და ვღებულობთ ნამდვილ მეტალურგიულ ჩაჭიდებას.

ცხრილი. 4. დაფრქვევის სხვადასხვა ტექნოლოგიების შედარება

პარამეტრი	ორელექტროდიანი რკალი	პლაზმური დაფრქვევა	პლაზმური დაფრქვევა ვაკუუმში
გაზის ხარჯი (m ³ /h)	70	4	2–8
პლაზმის ტემპერატურა (K)	6000	6000	8000
გაზის არე	N ₂ , O ₂	A, N ₂ , O ₂ , H ₂	A, He
ნაწილაკების სიჩქარე (m/s)	250	250	250–600
ადგეზია (1 დან 10 ბალიანი შეფასებით)	6	6	9
შეჭიდულობა	მაღალი	მაღალი	უმაღალისი
ფასი (1 დან 10 ბალიანი შეფასებით)	1	5	10

დაფრქვევის მაქსიმალური მწარმოებლობა (kg/h)	15	5	10
სიმძლავრე (kW)	4–6	30–80	50–100
დნობის ენერჯია (kW/kg)	0.2–0.4	12–20	10–20
მასალა	ლითონი	ნებისმიერი	ნებისმიერი

პლაზმური დაფრქვევისას გამოიყენება ირიბი ქმედების პლაზმატრონი (ნახ. 3).

§1.2.8. პლაზმური მეტალურგია

პლაზმური ღუმელის დანერგვამ მეტალურგიაში შექმნა პირობები მაღალი ხარისხის პროდუქციის წარმოებისათვის. ამასთან იგი ფინანსურადაც უფრო მომგებიანია სხვა მეთოდებთან შედარებით. ამ ღუმელებს გააჩნიათ დნობის მაღალი მარგი ქმედების კოეფიციენტი და შეუძლიათ აწარმოონ შენადნობები დაბალი ნახშირბადის, დაბალი წყალბადის და დაბალი ჟანგბადის შემცველობით.

პირდაპირი ქმედების პლაზმური დანადგარის გამოყენება მეტალურგიაში ხასიათდება ენერჯიის მაღალი კონცენტრაციით, მაღალი თერმული მქკ-ით, შესანიშნავი სითბოსი და მასათაცვლის პირობებით. ამ პლაზმურ ღუმელებში რკალი ანთია პირდაპირ გასადნობ მასალაზე ან რკალის სითბო გადაეცემა გამდნარ მასას პლაზმური ჭავლის საშუალებით.

პლაზმური რკალით გადადნობა გვიჩვენებს რომ ის ხარისხითა და თვითღირებულებით უფრო კონკურენტულია სხვა მეთოდებთან შედარებით როგორებიცაა ელექტრორკალური გადადნობა ვაკუუმში და ელექტრონულ სხივური გადადნობა. სისუფთავის მზარდმა მოთხოვნილებამ განაპირობა ციკქვედიანი ღუმელების გავრცელება. ღუმელის ცივი ქვედი არის ინტენსიურად გაცივებადი სპილენძის ქვედი სადაც კაზმი დნება, სუფთავდება და ხელმეორედ მყარდება. პლაზმური ნაკადი ადნობს კაზმს და გამდნარი ლითონი მიედინება ქვედის გასწვრივ წარმოქმნის რა წიდას სპილენძის ქვედზე. წინასწარ გადნობილი ლითონი, რომელიც წარმოქმნის წიდას, ხელს უშლის გამდნარი ლითონის პირდაპირ შეხებას სპილენძის

ზედაპირთან. ელექტრორკალური გადაღობა ვაკუუმში, ციკქვედიანი ელექტრონულ-სხივური დნობა და ციკქვედიანი პლაზმური დნობა მიეკუთვნებიან მაღალ ტექნოლოგიებს. ციკქვედიანი ელექტრონულ სხივური დნობა დამუშავდა გასული საუკუნის სამოციან წლებში ხოლო ციკქვედიანი პლაზმური დნობის ტექნოლოგია ორ ათეულ წელს ითვლის. მათი შედარება ტიტანის გამოღობისათვის მოცემულია მე-5 ცხრილში.

ცხრილი 5. ტიტანის ციკქვედიანი ელექტრონულ სხივური და ციკქვედიანი პლაზმური გამოღობის ტექნოლოგიების შედარება.

	ელექტრონულ სხივური	პლაზმური
W-ისა Cr-ის გამოყოფა	თითქმის 100% - ანი ეფექტი	თითქმის 100% - ანი ეფექტი
ქიმიური შემადგენლობა	აქროლადი ელემენტების სრული კომპენსაცია	თითქმის უდანაკარგო პროცესი
O ₂ – ის შემცველობის შემცირება	ტიტანის მადნის დამატებით	ტიტანის მადნის დამატებით
გამოყენების გამოცდილება	საყოველთაოდ დამკვიდრებული ტექნოლოგია	მიმდინარეობს წარმოებაში დამკვიდრების პროცესი

პლაზმური დაშლის ტექნოლოგია წარმოადგენს შესანიშნავ ტექნოლოგიას სასარგებლო წიაღისეულის და ნედლეულის დაშლისათვის. ეს ტექნოლოგია შეიძლება გამოვიყენოთ სითბომდგრადი ოქსიდებისათვისაც კი. მომატებულ ტემპერატურებზე ეს ოქსიდები დისოცირდებიან, როცა დისოციაციის წნევა აღემატება ჟანგბადის პარციალურ წნევას გარემომცველ გარემოში.

რადგან პლაზმური აირები არ შეიცავენ ჟანგბადს, მდგრადი ნარევი(შედგენილობა) როგორებიცაა კვარცი(კაჟმიწა), ალუმინის ჟანგი და მაგნეზია იშლებიან. ცირკონიუმის სილიკატის(ცირკონის ქვიშა) დაშლა ცირკონიუმის ორჯანგად და კვარცად ტექნოლოგიური პროცესებისათვის მნიშვნელოვანია. პლაზმური დნობის ტექნოლოგია საშუალებას იძლევა რკინის პირდაპირი გამოღობისა და სხვადასხვა ფეროშენადნობების

წარმოების შესაძლებლობას (ფეროქრომი, ფერომანგანუმი, ფეროსილიციუმი, ფერომოლიბდენი, ფეროვანადიუმი, ფეროსილიკოალუმინი).

პლაზმური ტექნოლოგიის გამოყენება გულისხმობს ორ შესაძლებლობას, ტექნოლოგიური სქემა დამყარებულია მთლიანად პლაზმურ ტექნოლოგიაზე ან პლაზმური სისტემის მოდიფიცირებას არსებული ტრადიციული სისტემისათვის.

ტყობის ქვანახშირის ნარჩენების პლაზმურ ღუმელებში გადამუშავება და ფეროსილიკოალუმინის მიღების ტექნოლოგიის დამუშავება ამ სადისერტაციო ნაშრომის ერთერთი ძირითადი მიზანია.

§1.3. რა ალტერნატიული მეთოდებია უკვე შემუშავებული დასმული პრობლემის გადაჭრისათვის

სამთო საქმეში პლაზმური ტექნოლოგია შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას ლითონების საჭრელად, პლაზმური დაფრქვევით და დადულებით გაცვეთილი დეტალების აღსადგენად, მყარი ქანების მოსანგრევად, შპურების გასაბურღად, მყარი ქანებისაგან სამშენებლო მასალების დასამზადებლად და ასე შემდეგ.

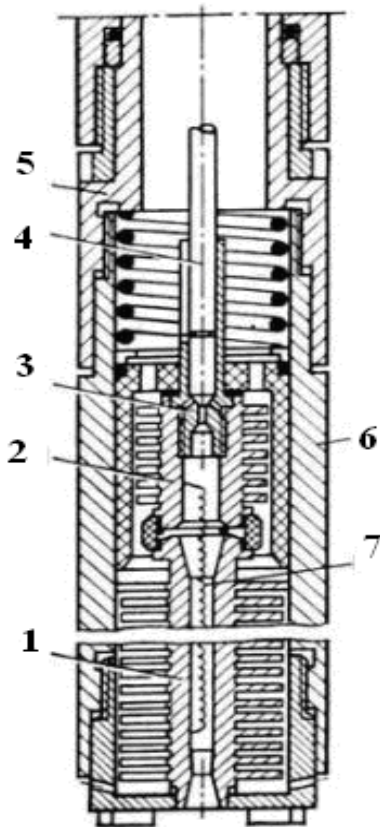
ამ მიზნების განსახორციელებლად საჭირო პლაზმატრონების სიმძლავრე შესაძლებელია დაიყოს სამ ჯგუფად:

1. პლაზმური ჭრის პლაზმატრონები- 5-30 კვტ;
2. დაფრქვევისა და დადულების პლაზმატრონები- 20-100 კვტ;
3. სამთო ქანების დასამუშავებელი პლაზმატრონები- 200-1000 კვტ.

პლაზმური ჭრის (5-30კვტ.) სიმძლავრის პლაზმატრონების სამთო საქმეში გამოყენების არეა ლითონის ჭრის სამუშაოები სამთო სტაციონარული დანადგარების მონტაჟისა და რემონტის დროს.

დიდი სიმძლავრის პლაზმატრონების სამთო საქმეში გამოყენების საქმე უფრო რთულადაა.

სამთო საქმეში პლაზმური ტექნოლოგიის გამოყენების ერთერთი მაგალითია პლაზმური ბურღის გამოყენება, რომელიც გამოსახულია ნახაზზე 4.



ნახაზი 4. პლაზმური ბურღი. 1- ნოდი; 2- კათოდი; 3- ჰაერის ტანგენციალური მიწოდების არხი; 4- საბურღი შტანგა; 6- კორპუსი; 7- რკალი.

პლაზმური ბურღის მოქმედების პრინციპი მდგომარეობს შემდეგში: შეკუმშული ჰაერი პლაზმურ ბურღში ჩაეწდება ღრუ შტანგით, რომელიც იყოფა ორ ნაწილად. ერთი ნაწილი შედის რკალის მოქმედების არეში, ქმნის პლაზმურ ჭავლს და ადნობს ქანს. მეორე უფრო დიდი ნაწილი აცივებს ელექტროდებს, გამოდის გარეთ და გამოაქვს გამდნარი და მორღვეული მასალა.

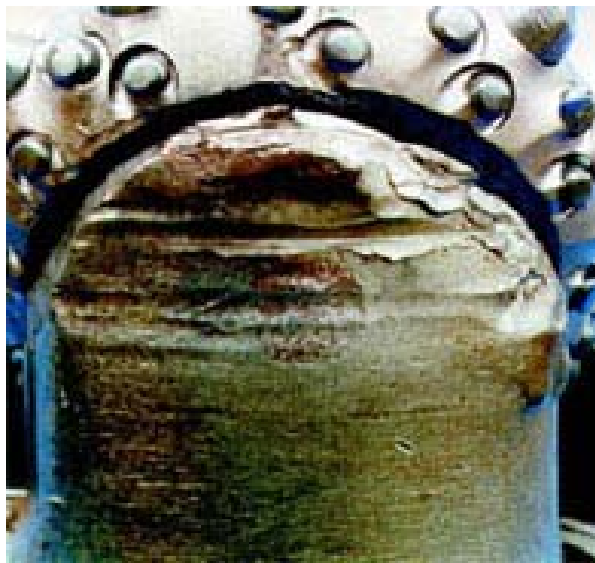
პლაზმური დადნობით აღდგენილი სატეხი (დოლოტო) მოცემულია ნახაზებზე 5-8



ნახაზი 5. სატეხის კბილები ადღვენამდე



ნახაზი 6. სატეხის კბილები ადღვენის შემდეგ



ნახაზი 7. სატეხის კორპუსი ადღვენამდე



ნახაზი 8. სატეხის კორპუსი ადღგენის შემდეგ

§1.4. რა ნაკლოვანებები აქვს ცნობილ მეთოდებს და რა ნაკლოვანებებია ადმოფხვრილი სადისერტაციო ნაშრომში

განვიხილოთ პლაზმური დამუშავების ენერჯის ბალანსი ნებისმიერი პლაზმური პროცესისათვის.

ენერჯიების ბალანსის განტოლებას აქვს ასეთი სახე

$$\eta W_3 = W_8 + W_{დ}$$

სადაც W_3 არის პლაზმატრონიში გამოყოფილი ენერჯია;

$$W_3 = I U t = N t$$

W_8 – მასალის გახურებაზე წასული ენერჯია;

$$W_8 = C M (t_{დ} - t_0) T$$

$W_{დ}$ – მასალის გადნობაზე წასული ენერჯია;

$$W_{დ} = q_{დ} M$$

η არის პროცესის მარგი ქმედების კოეფიციენტი ($\eta = 0.5-0.7$);

M – დამუშავებული მასალის მასა, კგ;

C – მასალის კუთრი სითბოტევადობა, ჯ/კგ.⁰C;

t_0 - მასალის საწყისი ტემპერატურა, ⁰C;

t_d - მასალის დნობის ტემპერატურა, °C;

q_d - მასალის დნობის სიბოლო, ჯ/კგ;

t – პლაზმატრონის მოქმედების დრო, წმ;

T – მასალის გახურებაზე წასული დრო, წმ;

გაანგარიშებები აჩვენებს, რომ პლაზმატრონის სამთო საქმეში მისაღები მწარმოებლურობის მისაღწევად პლაზმატრონის სიმძლავრე 100 კვტ.-ზე მეტი უნდა იყოს.

იაფ გაზზე ხანგრძლივად მომუშავე ასეთი სიმძლავრის პლაზმატრონები ჯერ არ არსებობენ.

მიუხედავად ამისა პლაზმურ ბურღვაზე მუშაობა დაიწყო ჯერ კიდევ 60-იან წლებში (ამის მაგალითია ამერიკული პატენტი [24], რომელიც დაპატენტებულია 1969 წელს) და ინტენსიურად მიმდინარეობს დღემდე, რომლის მაგალითია ამერიკული პატენტი [25], რომელიც დაპატენტებულია 2007 წელს). ამიტომაც ჩვენი მიზანია მძლავრი პლაზმატრონების შექმნა.

ლიტერატურის კვლევის შედეგები აგრეთვე გვიჩვენებს, რომ სამთო სტაციონარული დანადგარების მონტაჟისა და რემონტის დროს ლითონების ჭრის სამუშაოების შესრულებისას ტექნიკური და ეკონომიკური თვალსაზრისით ყველაზე უფრო მისაღებია პლაზმური დამუშავება.

ამ პირობებშიც პლაზმური დამუშავებისას გადასაწყვეტია ორი პრობლემა:

- ❖ პლაზმატრონის მედეგობის პრობლემა;
- ❖ პლაზმატრონის ენერგო მომარაგების პრობლემა.

ყოველივე ზემოთ თქმულიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ სამთო საქმეში გამოყენებადი პლაზმური დანადგარებისა და პლაზმური ტექნოლოგიების შესაქმნელად აუცილებელია სამი ძირითადი პრობლემის გადაწყვეტა. ესენია:

- ❖ მძლავრი პლაზმური დანადგარების შექმნა;
- ❖ პლაზმატრონის მედეგობის პრობლემა;
- ❖ პლაზმატრონის ენერგო მომარაგების პრობლემა.

ამისათვის კი საჭიროა:

- ❖ პლაზმური ჭავლის ფორმირების ისეთი ხერხების დამუშავება რომელიც საშუალებას მოგვცემდა პლაზმური ტექნოლოგიის სამთო საქმეში გამოყენების საშუალებას;
- ❖ სამთო ქანებისა და ტექნოლოგიური დანადგარების დეტალების დასამუშავებელი მძლავრი, ენერგოდამზოგი და ეკოლოგიურად უსაფრთხო პლაზმური დანადგარების დამუშავება, თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევა;
- ❖ დამუშავებული პლაზმური დანადგარების საანგარიშო ალგორითმებისა და პროგრამების შექმნა, სამრეწველო ნიმუშების დაპროექტება, დამზადება, გამოცდა, შესაბამისი ტექნიკური მონაცემების დადგენა და დანერგვა.

თავი 2. შედეგების განსჯა

§2. სამთო საქმეში გამოყენებადი პლაზმურ დანადგარებში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური და თბური პროცესების თეორიული საფუძვლები

სამთო საქმეში პლაზმური ტექნოლოგიის გამოყენების სპეციფიურობის გამო (დიდი სიმძლავრეები, შეზღუდული გარემო, მუშაობის მძიმე პირობები და სხვა) პლაზმური ტექნოლოგიის გამოყენება შეზღუდული იყო და პრაქტიკაში გამოყენებული იყო ნაკლებად. ამიტომ ჩვენ მოგვიხდა პლაზმური ჭავლის ფორმირების ისეთი ხერხების დამუშავება (მათი ორიგინალობა დადასტურებულია რამდენიმე პატენტით და საერთაშორისო კონფერენციებზე გაკეთებული მოხსენებებით) რომელიც საშუალებას მოგვცემდა პლაზმური ტექნოლოგიის სამთო საქმეში გამოყენების შესაძლებლობას. მომდევნო პარაგრაფებში წარმოდგენილია სამთო ქანებისა და ტექნოლოგიური დანადგარების დეტალების დასამუშავებელი მძლავრი, ენერგოდამზოგი და ეკოლოგიურად უსაფრთხო პლაზმური დანადგარების დამუშავების, თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევისა და დანერგვის შედეგები.

ჩვენს მიერ შექმნილი სამთო საქმეში გამოყენებადი პლაზმური დანადგარები შეიძლება დაეყოს სამ ჯგუფად:

1. არალითონური მასალების პლაზმური ჭრისა და მოპირკეთების დანადგარები, რომელთა გამოყენება შესაძლებელია საშენი მასალების მონოლითების მოსაჭრელად საბადოს მასივიდან და მისი ბლოკებად დასანაწილებლად. ძირითადად ხდება ღარების ამოჭრა მასივში და მერე კი მონოლითის მოცილება მასივიდან სოლების მეშვეობით. პლაზმატრონი გამოიყენება აგრეთვე მონოლითებისა და ბლოკების პასირებისათვის. შემდგომ პლაზმატრონი გამოიყენება ქვის დასამუშავებელ ქარხნებში ბლოკების საშენ ფილებად დასაჭრელად, ფილების პასირებისათვის და მოსაპირკეთებლად მოდნობით;
2. პლაზმური საბურღი დანადგარი ბურღვა აფეთქების სამუშაოებისა და საძიებო სამუშაოებისათვის შპურებისა და ჭაბურღილების გასათხრელად და ღრმა ბურღვის საწარმოებლად;
3. სამთო ინდუსტრიის ნარჩენების პლაზმური გადამუშავების დანადგარები.

ამ დანადგარების დაპროექტებას და დამზადებას, გამოცდას და დანერგვას წინ უძღოდა პლაზმური დანადგარებში მიმდინარე მთელი რიგი პროცესების ანალიზი, რომელმაც ჩვენ საშუალება მოგვცა დაგვემუშავებინა სამთო საქმეში გამოყენებადი ორიგინალური პლაზმური ჭავლის ფორმირების ხერხები და პლაზმური დანადგარების კონსტრუქციები.

§2.1. პლაზმური რკალის ფუნქციონირების თეორიული საფუძვლები

პლაზმური ტექნოლოგია არის დიდი ენერგო შემცველობის ტექნოლოგია. ამიტომ ყოველი ახალი პლაზმური დანადგარის შექმნისას აუცილებელია პლაზმატრონისა და პლაზმური რკალის კვების წყაროს ოპტიმიზაცია, როგორც ენერგო მოხმარების თვალაზრისით ასევე მისი სტატიკური და დინამიკური ვოლტამპერული მახასიათებლების გამოკვლევა. ამიტომ აუცილებელია სისტემის “პლაზმური რკალი-კვების წყარო” ანალიზის მეთოდის დამუშავება და ყოველი ახალად შექმნილი

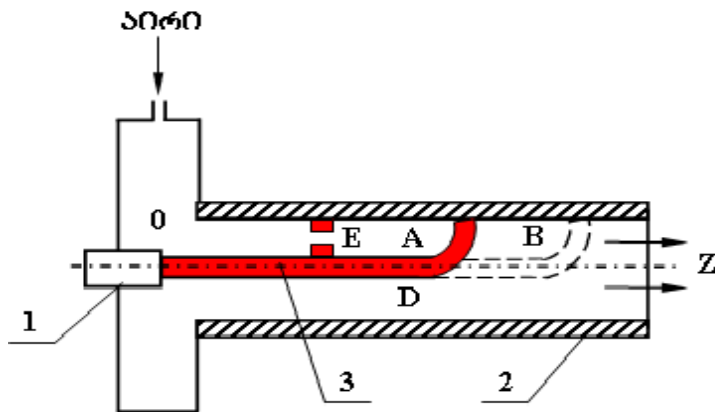
პლაზმური დანადგარის მუშა პროცესის ანალიზი ამ მეთოდის გამოყენებით.

ელექტრული რკალის სტატიკური და დინამიკური მახასიათებლების მკაცრი მათემატიკური აღწერა, რომელიც მოგვცემდა რკალის სტაბილური ფუნქციონირების პირობების დადგენის საშუალებას, ამჟამად არ არსებობს. ასეთი ამოხსნადი განტოლებათა სისტემის არსებობა საშუალებას მოგვცემდა აღგვეწერა ელექტრული რკალის სტატიკური და დინამიკური მახასიათებლები და შეგვეთანხმებინა ის კვების წყაროს სტატიკურ და დინამიკურ მახასიათებლებთან. ასეთი რამ ამჟამად არ არსებობს, მაგრამ მრავალრიცხოვანი თეორიული და ექსპერიმენტული ნამუშევრები[1-105] საშუალებას იძლევა ჩამოვაყალიბოთ პლაზმური დანადგარის მიმართ წაყენებული კრიტერიუმები, რომლებიც იძლევიან პლაზმატრონის ეფექტური მუშაობის საშუალებას:

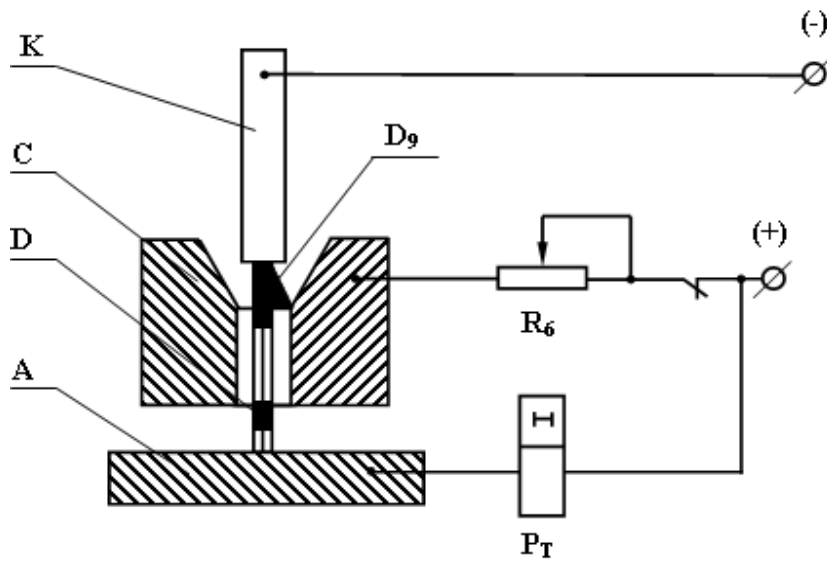
1. პლაზმატრონის ეფექტური მუშაობა უზრუნველყოფილია კვების წყაროს დამრეცი სტატიკური ვოლტამპერული მახასიათებლის შემთხვევაში, როდესაც მახასიათებლის დახრის კუთხე უახლოვდება 90° – ე. ი. კვების წყარო წარმოადგენს არა ძაბვის წყაროს, არამედ დენის წყაროს, ანუ როდესაც პლაზმური რკალის წინააღმდეგობის ცვლილებისას იცვლება ძაბვა და არა დენი;
2. უქმი სავლის მაქსიმალური ძაბვა უნდა იყოს მხოლოდ 10-15%-ით მეტი ვიდრე მაქსიმალური მუშა ძაბვა ე. ი. კვების წყაროს ვოლტამპერულ მახასიათებელს უნდა ჰქონდეს მართკუთხედის ფორმა ე. ი. კვების წყარო უნდა იყოს დენის წყარო მუშა რეჟიმში და ძაბვის წყარო უქმი სვლის რეჟიმში;
3. კვების წყარო დენისა და ძაბვის პულსაცია უნდა იყოს მინიმალური.

ამ თვალსაზრისით განვიხილოთ პლაზმური რკალი როგორც დენის მომხმარებელი.

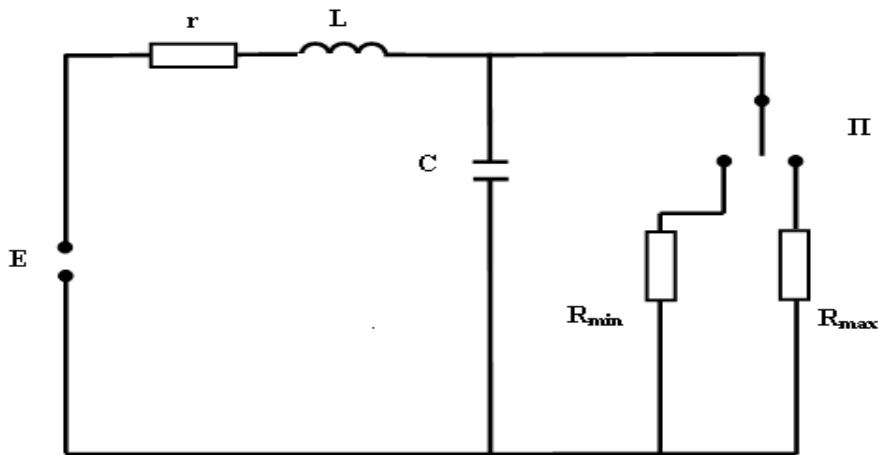
პლაზმური რკალის მოქმედების პრინციპი შესაძლებელია წარმოვადგინოთ ისე როგორც ეს მოცემულია ნახ. 9-ზე, პლაზმური დანადგარის გამარტივებული სქემა ნახაზ 10-ზე, ხოლო პლაზმური დანადგარის ჩანაცვლების სქემა ნახაზ 11-ზე.



ნახაზი 9. პლაზმური რკალის მოქმედების პრინციპი: 1- კათოდი; 2- ანოდი; 3- რკალი.



ნახაზი 10. პლაზმური დანადგარის გამართივებული სქემა: K-კათოდი; C-საქმენი; D- რკალი; A- ანოდი.



ნახაზი 11. პლაზმური დანადგარის ჩანაცვლების სქემა

აქედან შეიძლება დავასკვნათ, რომ პლაზმური რკალის მოქმედების ელექტრული წრედი უნდა შეიცავდეს აქტიური R , ინდუქციური L და ტევადურ C სინაღმდევობათა ოპტიმალურ კომბინაციას.

§2.2. პლაზმური დანადგარის ელექტრომაგნიტური პროცესის თეორიული საფუძვლები

წინა პარაგრაფებში ჩვენ ჩამოვაყალიბეთ სამთო საქმეში გამოყენებადი პლაზმური ჭავლის მიღების ოპტიმალური ხერხები და კრიტერიუმები, რომლებსაც უნდა აკმაყოფილებდეს პლაზმური დანადგარის ძალური ელემენტები, რომ უზრუნველყოფილ იქნას პლაზმატრონის სტაბილური ფუნქციონირება. შესაბამისად ჩვენ შევქმენით პლაზმური დანადგარის ძალური ნაწილის ელექტრული სქემა, რომელიც უზრუნველყოფს პლაზმატრონის სტაბილურ და ენერგეტიკულად ეფექტურ ფუნქციონირებას. ის შეიცავს დამრეცი მახასიათებლის მქონე ტრანსფორმატორს, ხისტი მახასიათებლის მქონე ტრანსფორმატორს, გამმართველს და თვითონ პლაზმატრონს. აუცილებელია ამ სქემის მოქმედების ელექტრომაგნიტური პროცესების ანალიზი და თითოეული ელემენტის გაანგარიშების მეთოდის დამუშავება.

პლაზმური რკალის ფუნქციონირების ოსცილოგრამაზე შეინიშნება სამი მახასიათებელი სიხშირე. ესენია: დაბალი სიხშირის რხევები (300 კც), მსხვილმასშტაბიანი სიხშირის რხევები (1კვც რივისა) და მცირე

მასშტაბიანი რხევები (100კპც რიგისა). 300კპც სიხშირის რხევები დაკავშირებულია ცვლადი დენის გამართვასთან. ამ რხევებს აქვთ მცირე ამპლიტუდა და ფაქტიურად პლაზმური რკალის ფუნქციონირებაზე გავლენას არ ახდენენ. 100კპც რიგის სიხშირის რხევებს, რომლებიც ალბათ დაკავშირებულია რკალის სხვა და სხვა უბანზე ველის ლოკალურ ცვლილებებზე, აგრეთვე აქვთ მცირე ამპლიტუდა და პლაზმური რკალის ფუნქციონირებაზე უმნიშვნელო გავლენას ახდენენ. ეს რხევები პლაზმური რკალის სტაბილურობაზე ახდენენ გავლენას იმდენად რამდენადაც ზედ ედებიან მსხვილმასშტაბიანი სიხშირის რხევებს და ცვლიან მათ ამპლიტუდას დაახლოებით 5 – 10% - ით.

ძირითად შეშფოთებებს, რომლებიც გავლენას ახდენენ პლაზმური რკალის სტაბილურობაზე, წარმოადგენენ 1 კპც რიგის მსხვილმასშტაბიანი სიხშირის რხევები. ეს რხევები ძირითადად გამოწვეულია ეგრეთწოდებული შუნტირების პროცესებით, რაც მდგომარეობს შემდეგში: დაუშვათ დროის გარკვეულ მომენტში რკალს უჭირავს OA მდგომარეობა (ნახაზი 9). აეროდინამიური და ელექტროდინამიური ძალების ზეგავლენით რკალის ანოდი გადადგილდება გაზის ნაკადის მიმართულებით. მაგრამ რკალის სიგრძე უსასრულოდ არ შეიძლება გაიზარდოს. რაღაც მომენტში ძაბვა რკალის შნურსა და საქშენის კედელს შორის გახდება საკმარისი რკალის შნურსა და საქშენის კედელს შორის გაზის ფენის გასარღვევად, მოხდება ელექტრული გარღვევა და რკალი დაშუნტდება. შემდგომ შუნტირების ეს პროცესი 1კპც რიგის სიხშირით განმეორდება.

ამ პროცესის რაოდენობრივი ანალიზისათვის ელექტროდის 1 პოტენციალი პირობითად მივიღოთ ნულის ტოლი, მაშინ ელექტროდის 2 პოტენციალი იქნება u . რკალის პოტენციალი რკალის ნებისმიერ Z კვეთაში ავლნიშნოთ $u(x)$ – ით, მაშინ ამ კვეთაზე პოტენციალთა სხვაობა

$$\Delta u(x) = u - u(x).$$

ვთქვათ დროის გარკვეულ მომენტში რკალს აქვს მინიმალური წინაღობა R_{\min} და ის ნახტომისებურად იზრდება R_{\max} –მდე. თუ ამ

მომენტში აღმოჩნდება, რომ რკალის დენი შემცირდება დასაშვებზე მეტად, მაშინ დაიწყება რკალის დეიონიზაცია და რკალი ჩაქრება.

მაშასადამე პლაზმური რკალის სტაბილური ფუნქციონირების განსაზღვრის ამოცანა დადის რკალის წრედის დენის მინიმალური მნიშვნელობის განსაზღვრამდე, როდესაც რკალის წინაღობა იზრდება ნახტომისებურად იცვლება მინიმალური R_{\min} -დან მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე, R_{\max} -მდე.

ვთქვათ r , L და C წინააღმდეგობებში შეყურსულია შესაბამისად რკალის წრედის აქტიური, ინდუქციური და ტევადური წინააღმდეგობები. ამ შემთხვევაში პლაზმური რკალის ფუნქციონირების პროცესი მსაგავსია იმ ელექტრომაგნიტური პროცესებისა, რომლებიც ხდება ელექტრულ წრედში გადამრთველის გადართვისას ერთი წინააღმდეგობიდან მეორე წინააღმდეგობამდე. წარმოდგენილი ჩანაცვლების სქემა საშუალებას იძლევა შეფასდეს დენისა და ძაბვის, როგორც მსხვილ მასშტაბიანი ისე, წვრილ მასშტაბიანი ცვლილებები და ამით განისაზღვროს წრედის ცალკეული ელემენტის გავლენა პლაზმური რკალის ფორმირებაზე.

ამ ნაშრომში გაანალიზებულია დენისა და ძაბვის მსხვილმასშტაბიანი ცვლილებები, რომლებიც წარმოიქმნებიან პლაზმური რკალის წრედში შუნტირების პროცესში. ამასთან მიღებულია, რომ ერთი წინააღმდეგობიდან მეორე წინააღმდეგობაზე გადართვის დროის მონაკვეთში რკალის დენი ასწრებს დამყარებას გრძელ მნიშვნელობამდე, ხოლო გადართვა ხდება მომენტალურად.

ვიპოვოთ დენისა და ძაბვის მნიშვნელობები გადართვის შემდეგ მომენტებში. ამისათვის შევადგინოთ განტოლებათა სისტემა კირხჰოფის კანონის მიხედვით

$$E = L \frac{di}{dt} + ir + u_{\partial} \quad (2.1)$$

$$i = \frac{u_{\partial}}{R_{\min}} + C \frac{dU_{\partial}}{dt} \quad (2.2)$$

ინტეგრირების საწყისი პირობები გრძელი რკალისათვის იქნება

$$i/t=0 = i(0) = \frac{E}{R_{\max} + r} ; \quad (2.3)$$

$$u_C/t=0 = U_{\partial}(0) = \frac{E R_{\max}}{R_{\max} + r} \quad (2.4)$$

ხოლო მოკლე რკალისათვის კი

$$i/t=0 = i(0) = \frac{E}{R_{\min} + r} ; \quad (2.5)$$

$$u_C/t=0 = U_{\partial}(0) = \frac{E R_{\min}}{R_{\min} + r} . \quad (2.6)$$

სისტემის ინტეგრირება შესრულებულია ოპერაციული აღრიცხვის მეთოდებით.

გრძელი რკალისათვის ამონახსნი იქნება:

ძაბვა რკალზე

$$u_{\partial} = \frac{E R_{\min}}{R_{\min} + r} + \frac{E R_{\max} e^{-\alpha t}}{\beta C(r + R_{\min})(r + R_{\max})} \left(\frac{1}{R_{\max}} - \frac{1}{R_{\min}} \right) \times \quad (2.7)$$

$$\times [(r + R_{\min} - \alpha C R_{\min} r) sh \beta t - \beta C R_{\min} r ch \beta t] ;$$

რკალის დენი

$$i_{\partial} = \frac{E}{R_{\min} + r} + \frac{E R_{\max} e^{-\alpha t}}{R_{\min} \beta C(r + R_{\min})(r + R_{\max})} \left(\frac{1}{R_{\max}} - \frac{1}{R_{\min}} \right) \times \quad (2.8)$$

$$\times [(r + R_{\min} - \alpha C R_{\min} r) sh \beta t - \beta C R_{\min} r ch \beta t] ,$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \left(\frac{r}{h} + \frac{1}{R_{\min} C} \right) ; \quad (2.9)$$

$$\beta = \sqrt{\alpha^2 - \left(1 + \frac{r}{R_{\min}}\right) \frac{i}{LC}} . \quad (2.10)$$

მოკლე რკალისათვის ამონახსნი იქნება:

ძაბვა რკალზე

$$u_{\partial} = \frac{ER_{\max}}{R_{\max} + r} + \frac{ER_{\max}e^{-\alpha t}}{\beta C(r + R_{\min})(r + R_{\max})} \left(\frac{1}{R_{\min}} - \frac{1}{R_{\max}} \right) \times \\ \times \left[(r + R_{\min} - \alpha CR_{\max}^2 r) sh\beta t - \beta CR_{\max} r ch\beta t \right]; \quad (2.11)$$

რკალის დენი

$$i_{\partial} = \frac{E}{R_{\max} + r} - \frac{ER_{\min}e^{-\alpha t}}{R_{\max}\beta C(r + R_{\max})(r + R_{\min})} \left(\frac{1}{R_{\min}} - \frac{1}{R_{\max}} \right) \times \\ \times \left[(r + R_{\max} - \alpha CR_{\max} r) sh\beta t - \beta CR_{\max} r ch\beta t \right], \quad (2.12)$$

სადაც

$$\alpha = \frac{1}{2} \left(\frac{r}{h} + \frac{1}{R_{\max} C} \right); \quad (2.13)$$

$$\beta = \sqrt{\alpha^2 - \left(1 + \frac{r}{R_{\max}}\right) \frac{1}{LC}} . \quad (2.14)$$

ჩატარებული ანალიზიდან ჩანს, რომ რკალის დენი დიდად არის დამოკიდებული წრედის ტევადობაზე და მით უფრო პატარაა, რაც მეტია ტევადობა.

§2.3. ირიბი ზემოქმედების პლაზმატრონის ელექტროდების გაცივების სისტემების შედარებითი ანალიზი

ამ პარაგრაფში ექსპერიმენტული მონაცემებისა და თეორიული გამოთვლების საფუძველზე ჩატარებულია პლაზმატრონის ანოდის სხვადასხვა მეთოდებით გაცივების პროცესის შედარებითი ანალიზი. წყლით და ჰაერით კონვექციური გაცივება შედარებულია წყლის

დუდილით გამოწვეულ გაცივების პროცესთან. დადგენილია, რომ წყლის დუდილით ანოდის გაცივება წყლით კონვექციური გაცივების თანაბრძალიანია.

მიღებული შედეგი იძლევა რეალურ საფუძველს იმისათვის, რომ ჩატარდეს საკონსტრუქტორო-სამეცნიერო სამუშაოები ახალი თაობის ისეთი პლაზმატრონების შესაქმნელად, რომელთა ანოდებიც გაცივდება წყლის დუდილით, ხოლო ამავდროულად პლაზმაწარმოქმნელ აირად გამოყენებული იქნება დუდილით მიღებული წყლის ორთქლი.

ამ სამუშაოს მიზანია ექსპერიმენტული მონაცემებისა და თეორიული გათვლების საფუძველზე დაგვემტკიცებინა მცირე სიმძლავრის (13 კვტ-მდე) ირიბი ზემოქმედების პლაზმატრონის ანოდის გაცივების შესაძლებლობა წყლის დუდილით გამოწვეული სითბოგაცვლით.

13კვტ. სიმძლავრის პლაზმატრონის ელექტროდების ნორმალურ გაცივებაზე როგორც ექსპერიმენტები გვიჩვენებენ [99, 100], იკარგება სითბოს 20%, აქედან 15,5% ანოდის გაცივებაზე მოდის. პლაზმატრონის კონვექციური და დუდილით გამოწვეული გაცივების პროცესების შედარებითი ანალიზის მიზნით თეორიული გამოთვლა ვაწარმოეთ ორივე შემთხვევისათვის. თანაბარ პირობებისათვის გამოთვლა ვაწარმოეთ III-3 ტიპის პლაზმატრონის მაგალითზე მისი ანოდისა და მიმდებარე უბნის კონსტრუქციული ზომებიდან გამომდინარე. ამ პლაზმატრონის გაცივების სისტემა მიღების ნაკადით განივი გარსშემოდინების პროცესის მსგავსია [101]. ჩვენ შემთხვევაში მილის ფუნქციას ასრულებს პლაზმატრონის ანოდი. კონვექციური გაცივების გამოთვლა ვაწარმოეთ როგორც წყლით გაცივების, ასევე ჰაერით გაცივების შემთხვევისათვის.

როგორც ცნობილია [101], წყლით კონვექციური გაცივების შემთხვევაში გასაცვივებელი მილის საშუალო ზედაპირული თბოგაცემის კოეფიციენტის გაანგარიშებისათვის, შეიძლება გამოყენებული იქნეს ემპირიული ფორმულა:

$$\text{Nu}_{\text{წყ}} = 0,28\text{Re}_{\text{წყ}}^{0,60} \cdot \text{Pr}_{\text{წყ}}^{0,36} \cdot \left(\text{Pr}_{\text{გ}}/\text{Pr}_{\text{წყ}}\right)^{0,25}, \quad (2.21)$$

სადაც:

$$Nu_{\text{წყ}} = \frac{\alpha_{\text{წყ}} \cdot d}{\lambda_{\text{წყ}}} \text{ ნუსელტის კრიტერიუმია;}$$

$$Re = \frac{v_{\text{წყ}} \cdot d}{\nu_{\text{წყ}}} \text{ რეინოლდსის კრიტერიუმია;}$$

$$Pr_{\text{წყ}} = \frac{\nu_{\text{წყ}}}{a_{\text{წყ}}} \text{ პრანდტლის კრიტერიუმია გამაცივებელი წყლის საშუალო ტემპერატურის დროს;}$$

$$Pr_{\text{კ}} = \frac{\nu_{\text{კ}}}{a_{\text{კ}}} \text{ პრანდტლის კრიტერიუმია ანოდის გარე კედლის ტემპერატურის დროს;}$$

$\alpha_{\text{წყ}}$ - თბოგაცემის კოეფიციენტი, ვტ/მ².°C;

d - ანოდის გარე დიამეტრია, $d = 0,022$ მ;

$\lambda_{\text{წყ}}$ - გამაცივებელი წყლის საშუალო ტემპერატურის დროს თბოგამტარობის კოეფიციენტი,

$$\lambda_{\text{წყ}} = 0,612 \text{ ვტ/მ}^2\text{.}^{\circ}\text{C};$$

$\nu_{\text{წყ}}$ - კინემატიკური სიბლანტის კოეფიციენტი წყლის საშუალო ტემპერატურის დროს, მ²/წმ;

$\nu_{\text{კ}}$ - იგივე კოეფიციენტი ანოდის გარე კედლის ტემპერატურის დროს, მ²/წმ;

$a_{\text{წყ}}$ - ტემპერატურა გამტარობის კოეფიციენტი მაცივებელი წყლის საშუალო ტემპერატურის დროს მ²/წმ;

$a_{\text{კ}}$ - იგივე კოეფიციენტი გარე კედლის ტემპერატურის დროს მ²/წმ;

$\nu_{\text{წყ}}$ - მაცივებელი წყლის ნაკადის სიჩქარეა მ/წმ ანოდის გარსშემოდინების დროს და გამოითვლება შემდეგნაირად:

$$v_{\text{ვყ}} = \frac{Q}{2F} = \frac{9,4 \cdot 10^{-5}}{2 \cdot 4,5 \cdot 10^{-5}} = 1,044, \quad (2. 22)$$

სადაც Q - წყლის ხარჯია, მ³/წმ;

F - ანოდის გარშემო წყლის არხის კვეთის ფართობია, მ².

(2.22) ფორმულაში Q იყოფა 2-ზე იმიტომ, რომ ნაკადი ანოდის გარსშემოდინების დროს იყოფა ორად.

(2.21) ფორმულას იყენებენ, როცა $Re > 10^3$. ამ ფორმულის გამოსათვლელად, როგორც ვხედავთ, აუცილებელია ანოდის გარე კედლის ტემპერატურის $T_{\text{კ}}$, °C ცოდნა. ეს ტემპერატურა საძიებო პარამეტრია და მის მნიშვნელობის დადგენა ხდება თანდათანობითი მიახლოების გზით ნიუტონის ფორმულის გამოყენებით:

$$\alpha_{\text{ვყ}} = \frac{q}{T_{\text{კ}} - T_{\text{ვყ}}}, \quad (2. 23)$$

სადაც q ანოდის გარე კედლიდან წყალზე გადაცემული თბური ნაკადის სიმკვრივეა, ვტ/მ²:

$$q = \frac{W}{\omega} = \frac{2000}{0,002} = 10^6, \quad (2.24)$$

სადაც

W - მაცივებელი წყლის მიერ ანოდის გაცივებაზე წაღებული სითბოა, ვტ;

ω ანოდის გარე ზედაპირის ფართობია, მ².

(2.23) ფორმულაში $T_{\text{კ}}$ - ს ვანიჭებთ ისეთ მნიშვნელობას, რომლის დროსაც (2.23) და (2.21) ფორმულებით გათვლილი α - ს მნიშვნელობები ერთმანეთს მაქსიმალურად მიუახლოვდებიან. $T_{\text{კ}}$ - ს აღნიშნული მნიშვნელობა იქნება ანოდის გარე კედლის საძიებო ტემპერატურა. (2.23) ფორმულაში $T_{\text{ვყ}}$ გამაცივებელი წყლის საშუალო ტემპერატურაა (°C) და გამოითვლება შემდეგნაირად:

$$T_{\text{წყ}} = \frac{T_{\text{წყთ}} + T_{\text{წყც}}}{2} = \frac{26+21}{2} = 23,5 \quad (2.25)$$

$T_{\text{წყთ}}$ - ანოდის გარშემოწინების შემდეგ გამთბარი წყლის ტემპერატურაა ($^{\circ}\text{C}$):

$$T_{\text{წყთ}} = \Delta t + T_{\text{წყც}} = 5 + 21 = 26, \quad (2.26)$$

$T_{\text{წყც}} = 21^{\circ}\text{C}$ მაცივებელი ცივი წყლის ტემპერატურაა; Δt - წყლის ტემპერატურული ნაზარდია გათბობის შემდეგ:

$$\Delta t = \frac{W}{G \cdot C_p} = \frac{2000}{0,094 \cdot 4170} = 5, \quad (2.27)$$

სადაც C_p წყლის სითბოტევადობაა, $\text{ჯ/კგ}^{\circ}\text{C}$ ამგვარად (2.23) ფორმულა მიიღებს საბოლოო სახეს:

$$\alpha = \frac{10^6}{T_j - 23,5}, \quad (2.28)$$

(2.28) და (2.21) ფორმულების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ როცა $T_j = 120^{\circ}\text{C}$ (2.27) და (2.21) ფორმულებით გამოთვლილი α -ს მნიშვნელობები ერთმანეთს ემთხვევიან და ტოლია $\alpha \approx 10300 \text{ კტ/მ}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$. მაცივებელი წყლის საშუალო ტემპერატურისა და ანოდის გარე კედლის ტემპერატურის გათვალისწინებით (2.24) ფორმულით გამოთვლის დროს გამოყენებული იქნა მასში შემავალი პარამეტრების შემდეგი მნიშვნელობები:

$$v_j = 2.52 \cdot 10^{-7}, \quad a_j = 1.71 \cdot 10^{-7}, \quad v_{\text{წყ}} = 8.05 \cdot 10^{-7}, \quad a_{\text{წყ}} = 1.47 \cdot 10^{-7}.$$

ვიციოთ, რა ანოდის გარე კედლის ტემპერატურა, ანოდის შიდა ზედაპირის, ანუ რკალმაფორმირებელი კამერის შიგა კედლის საშუალო ტემპერატურა $T_{\text{შ}}$ შეიძლება განვსაზღვროთ ცილინდრული დეტალების გამოსათვლელი ცნობილი ფორმულით [102]:

$$q = \frac{2 \lambda_{\text{სა}} (T_{\text{შ}} - T_j)}{d \lg \frac{d}{d_{\text{შ}}}}, \quad (2.29)$$

$\lambda_{\text{სკ}} = 354$ სპილენძის თბოგამტარობის კოეფიციენტია ვტ/მ².°C; d_s ანოდის შიგა დიამეტრია, მ.

(9) ფორმულის გარდაქმნით მივიღებთ:

$$T_{\text{ა}} = \frac{qd \cdot \ln \frac{d}{d_{\text{ა}}}}{2\lambda_{\text{სკ}}} + T_{\text{კ}} = \frac{10^6 \cdot 0,022 \cdot 0,79}{2 \cdot 354} + 120^\circ = 144^\circ \text{C}, \quad (2.30)$$

ამგვარად, როგორც თეორიული გამოთვლები გვიჩვენებენ, ანოდის წყლით კონვექციური გაცივება დადებით შედეგს გვაძლევს. აღნიშნული ექსპერიმენტებითაც დასტურდება – პლაზმატრონი ნორმალურად ცივდება.

§2.3.1. პლაზმატრონის ანოდის ჰაერით გარსშემოღინების დროს კონვექციური გაცივების გაანგარიშება

მიღების ჰაერით გარსშემოღინების დროს თბოგადაცემის კოეფიციენტი, როცა $Re > 10^3$ გამოიანგარიშება ფორმულით [101]:

$$Nu_{\text{ჰ}} = 0,245 Re_{\text{ჰ}}^{0,60}, \quad (2.31)$$

სადაც $Nu_{\text{ჰ}} = \frac{\alpha_{\text{ჰ}} \cdot d}{\lambda_{\text{ჰ}}}$ ნუსეელტის კრიტერიუმია ჰაერით გაცივების დროს;

$Re_{\text{ჰ}} = \frac{v_{\text{ჰ}} \cdot d}{\nu_{\text{ჰ}}}$ რეინოლდსის რიცხვია ჰაერით გაცივების დროს;

$\lambda_{\text{ჰ}} = 0,0276$ ჰაერის თბოგამტარობის კოეფიციენტია 40°C ტემპერატურის დროს, ვტ/(მ² °C);

$\nu_{\text{ჰ}} = 1,7 \cdot 10^{-5}$ ჰაერის კინემატიკური სიბლანტის კოეფიციენტია 40°C ტემპერატურის დროს, მ²/წმ.

როგორც პრაქტიკული გამოცდილებიდან ცნობილია გამაცივებელი ჰაერის ხარჯს პლაზმაწარმოქმნელ ჰაერის ხარჯთან შედარებით იღებენ დაახლოებით 20-ჯერ მეტს. აქედან გამომდინარე 13 კვტ სიმძლავრის მქონე პლაზმატრონისათვის ასეთი ხარჯი იქნება $Q = 50 \cdot 10^{-3}$ მ³/წმ ($58,2 \cdot 10^{-3}$ მ³/წმ). მაშინ მაცივებელი ჰაერის ნაკადის სიჩქარე მ/წმ ტოლი იქნება:

$$v_{\text{ჰ}} = \frac{Q}{2F} = \frac{50 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 4,5 \cdot 10^{-5}} = 555,6, \quad (2.32)$$

ხოლო

$$Re_{\text{ჰ}} = \frac{v_{\text{ჰ}} \cdot d}{\nu_{\text{ჰ}}} = \frac{555,6 \cdot 0,022}{1,7 \cdot 10^{-5}} = 719011.$$

მაშინ (2.31) ფორმულიდან მივიღებთ $\alpha_{\text{ჰ}} = 1003 \text{ ვტ/მ}^2 \cdot \text{°C}$ როგორც ვხედავთ ჰაერით გაცივების დროს თბოგაცემის კოეფიციენტი საკმაოდ დაბალია. იმისათვის რომ გავიგოთ ანოდის გარე კედლის ტემპერატურა $T_{\text{ჰ}}$, განვსაზღვროთ ჰაერის ტემპერატურული ნაზარდი ანოდის გარსშემოდინების შემდეგ:

$$\Delta t = \frac{W}{G_{\text{ჰ}} \cdot Cp_{\text{ჰ}}} = \frac{2000}{58,2 \cdot 10^{-3} \cdot 1005} = 34,2, \quad (2.33)$$

სადაც $Cp_{\text{ჰ}}$ ჰაერის სითბოტევადობაა 40°C ტემპერატურის დროს. ჰაერის ტემპერატურა ანოდის გარსშემოდინების შემდეგ ტოლი იქნება:

$$T_{\text{ჰთ}} = \Delta t + T_{\text{ჰც}} = 34,2 + 20 = 54,2 \quad (2.24)$$

სადაც $T_{\text{ჰც}}$ ცივი ჰაერს ტემპერატურაა, $^{\circ}\text{C}$.

მაშინ ანოდის გარე კედლის ტემპერატურა $T_{\text{ჰ}}$ $^{\circ}\text{C}$ შეიძლება განვსაზღვროთ ნიუტონის ფორმულით:

$$T_{\text{ჰ}} = \frac{q}{\alpha} + \frac{T_{\text{ჰთ}} + T_{\text{ჰც}}}{2} = \frac{10^6}{1003} + 37 = 1034,$$

ასეთი ტემპერატურის დროს ანოდი ცხადია არამუშაუნარიანია. ეი III3 ტიპის პლაზმატრონის ანოდის კონსტრუქციის შემთხვევაში ანოდის ჰაერით გაცივება შეუძლებელია.

§2.3.2. პლაზმატრონის ანოდის წყლის დუღილით გაცივების გაანგარიშება

წყლის დუღილის დროს თბოგაცემის კოეფიციენტის გამოსათვლელად შეიძლება ვისარგებლოთ შემდეგი ფორმულით [101]:

$$\alpha = \frac{3,4P^{0,18}}{1 - 0,0045P} \cdot q^{\frac{2}{3}}, \quad (2.35)$$

სადაც $P=1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ წნევაა, რომლის დროსაც მიმდინარეობს დუდილის პროცესი, მაშინ:

$$\alpha = \frac{3,4}{1-0,0045} \cdot (10^6)^{\frac{2}{3}} = 34157,$$

როგორც ვხედავთ თბოგაცემის კოეფიციენტი დუდილის დროს, წყლით კონვექციური გაცივების დროს ანალოგიურ კოეფიციენტს 3,3- ჯერ აღემატება. თუმცა, როგორც ქვევით დავინახავთ, ადუღებით ანოდის გაცივების დროს ანოდის კედლების ტემპერატურა რამდენადმე მეტია, ვიდრე კონვექციური გაცივების დროს, რაც დუდილით გაცივების დროს მაცივებელი გარემოს ანუ ადუღებული წყლის შედარებით მაღალი ტემპერატურითაა გამოწვეული.

ტემპერატურული დაწნევა, რომელიც აუცილებელია დუდილის დროს მოცემული თბური ნაკადის გასატარებლად ანოდის გარე ზედაპირიდან გამაცივებელ წყალზე, გამოითვლება ნიუტონის ფორმულით:

$$T_{\text{კ}} - T_{\text{ორთქ}} = \frac{q}{\alpha} = 29.$$

$1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ წნევის დროს $T_{\text{ორთქ}} = 100^\circ\text{C}$, მაშინ ანოდის გარე ზედაპირის ტემპერატურა ტოლი იქნება:

$$T_{\text{კ}} = 100 + 29 = 129.$$

ანოდის შიდა ზედაპირის ტემპერატურის $^\circ\text{C}$ გამოსათვლელად გამოვიყენოთ (10) ფორმულა, მაშინ მივიღებთ:

$$T_{\text{კ}} = \frac{10^6 \cdot 0,022 \cdot 0,79}{2 \cdot 354} + 129 = 153.$$

ამგვარად ანოდის შიგა და გარე კედლების ტემპერატურების მიღებული მნიშვნელობები სრულად დამაკმაყოფილებელია. პლაზმატრონმა შეიძლება ნორმალურად იმუშაოს. წყლის დუდილით პლაზმატრონის ანოდის გაცივების პროცესი მთლიანობაში წყლით კონვექციური გაცივების თანაბარძალიანია. ამასთან, ანოდის გაცივების პროცესში მიღებული ორთქლი გამოყენებული იქნება პლაზმაწარმომქმნელ აირად.

იმისათვის, რომ განისაზღვროს იმ რეზერვუარის მოცულობა, რომელიც დამაგრდება პლასმატრონზე და მასში მოთავსდება მაცივებელი წყალი, საჭიროა გავიანგარიშოთ წყლის ორთქლადქცევის სიჩქარე კგ/წმ:

$$G = \frac{Q_3}{r}$$

სადაც

$Q_3 = 2,6$ პლასმატრონის ელექტროდების გაცივებაზე დახარჯული სითბოა, კვტ; $r = 2256,8$ ორთქლადქცევის სითბოა, კვ/კგ.

მაშინ:

$$G = \frac{2,6}{2256,8} = 0,00115 \text{ კგ/წმ, ანუ } G = 4,14 \text{ კგ/სთ,}$$

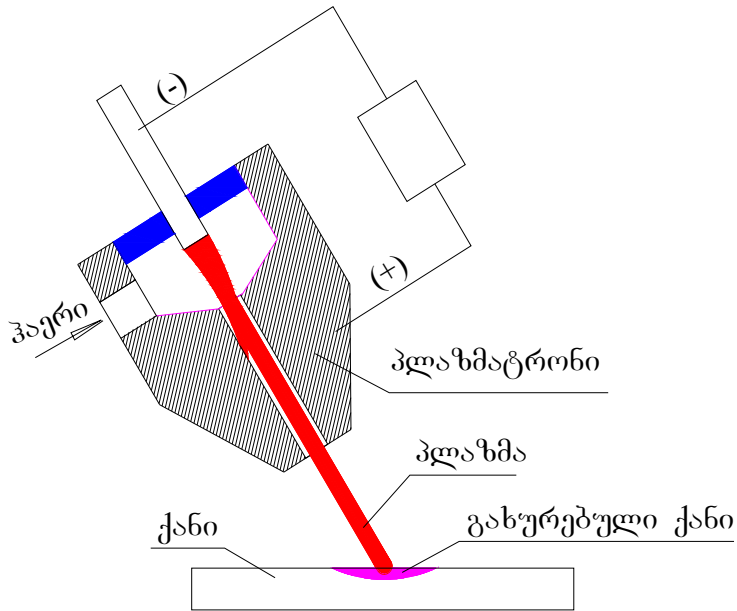
ე.ი. 1 ლიტრი წყლის აორთქლებას დასჭირდება 15 წთ. 10კვტ სიმძლავრის პლასმატრონებისათვის 15 წუთში აორთქლდება შედარებით ნაკლები (800 გრ) წყალი. აღნიშნული თეორიული გაანგარიშებები იძლევა საფუძველს, რომ შეიქმნას ისეთი მცირე სიმძლავრის ირიბი ზემოქმედების ორთქლიზე მომუშავე პლასმატრონი, რომლის ელექტროდები გაცივდება პლასმატრონზე დამაგრებულ, მცირე ტევადობის რეზერვუარში მოთავსებული წყლით და აღარ იქნება საჭირო წყლის მიმყვანი და გამომყვანი მილები.

ასეთ შემთხვევაში მნიშვნელოვნად მარტივდება პლასმატრონის კონსტრუქცია და იზრდება მისი პრაქტიკული გამოყენების შესაძლებლობა.

2.4. მყარი ქანის ზედაპირზე პლასმური ალის ზემოქმედების თბური პროცესის თეორიული ანალიზი.

ზოგადად პლასმური ზემოქმედება ნიშნავს რომ მაღალი ტემპერატურის პლასმური ალი ზემოქმედებს ქანის ზედაპირზე, იწვევს რა ქანის თხელი ზედაპირის ინტენსიურ გახურებას, რაც თავის მხრივ წარმოქმნის დაძაბულობას ქანის ზედაპირულ შრეში. ეს იძლევა მყარი ქანების აფშვნით პლასმური დამუშავების საშუალებას. ქანების ჭრის და სამშენებლო ქვების დამზადების საშუალებას.

ქანების აფშენით პლაზმური დამუშავების მეთოდი ახსნილია ნახაზზე (ნახ. 12).



ნახაზი 12. ქანების აფშენით პლაზმური დამუშავების პროცესი.

სითბოს დიდი ინტენსივობის გამო პლაზმის ნაკადი ახურებს ქანის ზედაპირს იმდენად სწრაფად, რომ სითბოს გავრცელების ინერციულობის გამო, ქანის ქვედა შრე ვერ ასწრებს გახურებას და წარმოიქმნება დიდი ტემპერატურული გრადიენტი ქანის ლოკალური ნაწილის ზედა და ქვედა შრეებს შორის. ამიტომ სხვადასხვაა ამ შრეების თბური გაფართოებისა და შეკუმშვის ხარისხი, რაც წარმოქმნის მექანიკურ დაძაბულობებს ამ შრეებს შორის და ხდება ქანის ზედა შრის ატკეჩვა(აფშენა). ამის გამო, როდესაც წარმოქმნილი დაძაბულობები აჭარბებს ქანის რღვევის დასაშვებ დაძაბულობებს პატარა ზომის ნაფშენები ცილდებიან ქანს.

ნაფშენის მოცილების მიმართულება დამოკიდებულია პლაზმური ჭავლის გადაადგილების მიმართულებაზე.

ქანის ზედაპირზე ტემპერატურის ცვლილების სიდიდე და პლაზმური ნაკადის დიდი კინეტიკური ენერგია (პლაზმური ნაკადის სიჩქარე აჭარბებს ზებგერით სიჩქარეს) საშუალებას იძლევა ქანის როგორც ზედაპირული ასევე სიღრმისეული ჭრის საშუალებას.

ქანში ტემპერატურის გავრცელების მათემატიკური აღწერა ნებისმიერ მომენტში, რომ განისაზღვროს მაღალი ტემპერატურის გავრცელების ნორმა და შეღწევალობის სიღრმე და, შესაბამისად სისქე ნაფშენისა, ეფუძნება თბოგამტარობის განტოლებას 1D სივრცისათვის.

სითბოს გავრცელება ქანის მასივში შეიძლება აღიწეროს თბოგამტარობის განტოლებით შემდეგნაირად:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \quad (2.41)$$

სადაც:

a - ქანის თბოგამტარობა ვტ/(მ, °C);

θ - ქანის ზედაპირის ტემპერატურული ცვლილება;

τ - შრის ანშრეეებისა და გამოყოფის დრო;

x - სითბოს გავრცელების მანძილი ქანის ზედაპირიდან ქანის სიღრმეში ნებისმიერი მომენტისათვის.

(2.41) – ის ამონახსნი მართებულია სასაზღვრო პირობებისათვის რომელიც ითვალისწინებს ქანის ზედაპირის ტემპერატურის ცვლილებას ნებისმიერ მომენტში და ტემპერატურის მაქსიმალურ გადახრას, რომელიც ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$\theta_{f,\tau} = T_{f\max} - T_{f,\tau} \quad (2.42)$$

და

$$\theta_{f,\tau} = \theta_{f\max} - T_f \quad (2.43)$$

სადაც:

$T_{f,\tau}$ - ტემპერატურა ქანის ზედაპირზე ნებისმიერ მომენტში;

$T_{f\max}$ - მაქსიმალური ტემპერატურა მოცემული ქანისათვის, როდესაც რაღაც ნაწილი გამოეყოფა ქანის სხეულს პატარა ნატეხების სახით ქანის გადნობის გარეშე;

T_f - ქანის ზედაპირის ტემპერატურა ამ ზედაპირიდან წინა შრის ანშრეგების მომენტში;

$\theta_{f,\tau}$ - ქანის ზედაპირზე ტემპერატურის ცვლილება ნებისმიერ მომენტში;

$\theta_{f\max}$ - ქანის ზედაპირზე ტემპერატურის ცვლილების მაქსიმუმი.

მოვლენის სრული აღწერა უნდა მოიცავდეს ქანის ზედაპირზე ტემპერატურის ცვლილებას, რომელიც დამოკიდებულია პლაზმატრონის გადაადგილების ტიპზე. როდესაც პლაზმატრონი გადაადგილება გრძივად მისი მოძრაობა გავს ქანქარა მექანიზმს და მისი ტრაექტორია არის მრუდი რომელსაც გააჩნია გარკვეული რადიუსი. პლაზმატრონის უკუქცევით-წინსვლითი გადაადგილება ქანის ზედაპირის გასწვრივ, როცა მანძილი პლაზმატრონის საქშენსა და ქანის ზედაპირს შორის მუდმივი სიდიდეა (ანუ პლაზმატრონი გადაადგილდება ისე რომ მანძილი ტოლია აფშხენილი ნატეხების სისქისა) წარმოქმნის ტემპერატურის ჰარმონიულ რხევას ქანის ზედაპირზე შემდეგი ფორმულის შესაბამისად:

$$\theta_{f,\tau} = \theta_{f\max} \cos\left(\frac{2\pi}{z_0}\right) \quad (2.44)$$

აქაც:

z_0 - სრული ციკლის ხანგრძლივობა როცა აღის შემოქმედება ქანის ზედაპირზე ჰარმონიულია;

τ - გაზომილი დრო ციკლის დაწყებიდან(დრო ნებისმიერ მომენტში, რომელიც აითვლება ციკლის დაწყებიდან);

$\frac{2\pi}{z_0}$ - რხევის კუთხური სიხშირე რომელიც შეესაბამება პლაზმატრონის

გადაადგილებას ქანის ზედაპირის მიმართ.

აქ განხილულ შემთხვევაში ჰარმონიული რხევის ციკილი ტოლია პლაზმატრონის მარშრუტისა(ტრაექტორიისა) ქანის ზედაპირის გასწვრივ.

$$z_1=0,5z_0 \quad (2.45)$$

თუ გავითვალისწინებთ (2.45) ტოლობას მაშინ (2.44) შეიძლება ასე ჩაიწეროს:

$$\theta_{f,\tau} = \theta_{f \max} \cos \left(\frac{2\pi}{2z_1} \right) \quad (2.46)$$

სადაც $0 \leq \tau \leq z_1$

სითბოგამტარობის განტოლებისა (2.41) და (2.42); (2.43) სასახლო პირობების გამოყენებით ჩვენ ვღებულობთ ტემპერატურის გავრცელების მახასიათებლებს ქანის მასივში მოცემულ მომენტში.

თუ სითბოგამტარობის განტოლებას (2.41) წარმოვადგენთ ორი დამოუკიდებელი ფუნქციის სახით და გავითვალისწინებთ (2.42) და (2.43) სასახლო პირობებს, ამოხსნის შედეგად მივიღებთ:

$$\theta_{x,\tau} = \theta_{f \max} \cos \left[\frac{2\pi}{z_0} - \sqrt{\frac{\pi}{az_0}} * x \right] \exp \left[-\sqrt{\frac{\pi}{az_0}} * x \right] \quad (2.47)$$

(2.47) გვიჩვენებს რომ ტემპერატურის გავრცელება ქანის მასივში ექვემდებარება ტალღისებრ მოდელს. ტემპერატურის ტალღის ამპლიტუდა მცირდება სიღრმის მიხედვით, ხოლო ტემპერატურა ყოველ მომდევნო პერიოდში აღიწერება ახალი ტალღით რომელიც მიმართულია ქანის მასივის შიგნით X-ღერძის გასწვრივ.

§3. პლაზმური ჭავლის ფორმირების ორიგინალური ხერხებისა და კონსტრუქციების დამუშავება

ზემოთ ჩამოყალიბებული ლიტერატურული ანალიზისა და თეორიული კვლევების საფუძველზე ჩვენ შევქმენით პლაზმური ჭავლის ფორმირების ორიგინალური ხერხები და კონსტრუქციები, რომლებმაც საშუალება შეგვიქმნა დაგვემუშავებინა სამთო საქმეში გამოყენებადი ორიგინალური პლაზმური დანადგარები და ტექნოლოგიები.

მოცემულ ნაშრომში სამთო ელექტრომექანიკის მიმართულებით პლაზმური ტექნოლოგიის გამოსაყენებლად შექმნილია პლაზმური ჭავლის ფორმირების პერსპექტიული ხერხები, რომელთაგან რამდენიმე წარდგენილია საერთაშორისო კონფერენციებზე, დაპატენტებულია და

დანერგილია წარმოებაში. მათ შორის ერთი დამუშავებულია საერთაშორისო გრანტით (CRDF).

კერძოდ შექმნილია პლაზმური ჭავლის ფორმირების შემდეგი ხერხები:

§3.1. პლაზმატრონის კათოდის დამზადების ხერხი

პლაზმატრონის კათოდის დამზადების ხერხი [14] იძლევა პლაზმატრონის ისეთი კათოდის დამზადების შესაძლებლობას, რომელიც იმუშავებს ნებისმიერი ტიპის გაზის გარემოში (ჰაერი, ჟანგბადი, ნახშირორჟანგი, აზოტი, წყლის ორთქლი, წყალბადი, ინერტული აირები და ასე შემდეგ) და უზრუნველყოფს სრულ თბურ კონტაქტს საკათოდე ღეროსა და გამაცივებელ ღეროს შორის. ეს მიიღწევა იმით, რომ გამაცივებელი ღეროს ნახვრეტში თავსდება მრავალკომპონენტური საკათოდე ფხვნილის ნარევი და ისინი დარტყმითი ტალღით კომპაქტირდება უწყვეტ მყარ ტანად. გამაცივებელი ღეროს და მრავალკომპონენტური საკათოდე ფხვნილის ნარევის კომპაქტირება ხდება აფეთქების ტალღის ან იმპულსური მაგნიტური ტალღის მეშვეობით; მრავალკომპონენტური საკათოდე ფხვნილის ნარევის ფუძე შეიცავს 70% - ზე მეტ ისეთ მასალას, რომელიც ხასიათდება შემდეგი ტექნიკური მონაცემებით: დნობის ტემპერატურა მეტია 2000 K-ზე, კათოდის გამოსვლის მუშაობა ნაკლებია 4 ვოლტზე, სიმკვრივე მეტია 6 g/cm³-ზე, თბოგამტარობა მეტია 6 w/mk-ზე, ელექტროგამტარობა მეტია 20 j/m- ზე, და ქიმიური მედეგობის ტემპერატურა მეტია 2000 K-ზე ან აქვს თვითაღდგენის თვისება; მრავალკომპონენტური საკათოდე ფხვნილის ნარევის დანამატი შეიცავს მასალას, რომლის გამოსვლის მუშაობა და იონიზირების ძაბვა 1,5-ჯერ მეტია ფუძის მასალის გამოსვლის მუშაობისა და იონიზირების ძაბვაზე; მრავალკომპონენტური საკათოდე ფხვნილის ნარევის ფუძე შეიცავს შემდეგ მასალებს ან მათ კომბინაციებს: ცირკონიუმი (Zr), ცირკონიუმის ნიტრატი (ZrN), ცირკონიუმის ბორიდი (ZrB₂), ჰაფნიუმი (Hf), ჰაფნიუმის ნიტრატი (HfN), ჰაფნიუმის ბორიდი (HfB₂), ჰაფნიუმის კარბიდი (HfC), ვოლფრამის კარბიდი (WC); მრავალკომპონენტური საკათოდე ფხვნილის ნარევის დანამატი შეიცავს

შემდეგ მასალებს ან მათ კომბინაციებს: ლითიუმი (Li), ბარიუმი (Ba), ნატრიუმი (Na), ნახშირბადი (C), ალუმინი (Al) ან მათი ქანგეულები, ბარიტი (BaSO₄), კალციტი (CaCO₃), კირი (CaO), რუტილი (TiO₂).

როდესაც გამაცივებელი ღეროს და მრავალკომპონენტიანი საკათოდე ფხვნილის ნარევის კომპაქტირება ხდება იმპულსური მაგნიტური ტალღის მეშვეობით, პლაზმატრონის კათოდი, რომელიც შედგება მრავალ კომპონენტიანი საკათოდე ფხვნილის ნარევისა და გამაცივებელი ღეროსაგან, მოთავსებულია მაგნიტურ-იმპულსური დანადგარის მაგნიტური ველის კონცენტრატორში. მაგნიტურ-იმპულსური დანადგარი შედგება ტრანსფორმატორის, გამმართველის, კონდენსატორების ბატარეის, კონტაქტორისა და მაგნიტური ველის კონცენტრატორისაგან. კონტაქტორის ჩართვისას მაგნიტური ველის კონცენტრატორზე ხდება მაღალი ძაბვის განმუხტვა და მასში წარმოიქმნება მაღალი ინტენსივობის მაგნიტური ველის იმპულსი, რაც მრავალკომპონენტიანი საკათოდე ფხვნილის ნარევის შემოუჭერს გამაცივებელ ღეროს.

იმ შემთხვევისათვის, როდესაც გამაცივებელი ღეროს და მრავალკომპონენტიანი საკათოდე ფხვნილის ნარევის კომპაქტირება ხდება აფეთქების ტალღის მეშვეობით პლაზმატრონის კათოდი, რომელიც შედგება მრავალკომპონენტიანი საკათოდე ფხვნილის ნარევისა და გამაცივებელი ღეროსაგან, მოთავსებულია ამფეთქ მასალაში. ამფეთქ მასალის აფეთქებისას აფეთქების ტალღის მეშვეობით მრავალკომპონენტიანი საკათოდე ფხვნილის ნარევის შემოჭირება გამაცივებელი ღერო.

ჩვენს მიერ დამუშავებულ პლაზმატრონებში გამოყენებულია მასალათა ასეთი კომბინაცია: ვიღებთ 95% ჰაფნიუმის ფხვნილს და 5% ბარიტის ფხვნილს, კარგად აურევთ ერთმანეთში და მოვათავსებთ სპილენძის ღეროში გაკეთებულ 3 მმ დიამეტრის ნახვრეტში. ასე შემზადებულ კათოდს მოვათავსებთ ამფეთქ მასალაში და ავაფეთქებთ. ასე დამზადებული კათოდი კარგად მუშაობს ჰაერის გარემოში.

§3.2. პლაზმური ჭავლის გამაძლიერებლის შექმნა და კვლევა

პლაზმური ტექნოლოგია ფართოდ გამოიყენება მეტალურგიულ, მანქანათმშენებელ და ქიმიურ მრეწველობაში, მაგნე სამრეწველო და სამეურნეო ნარჩენების გადასამუშავებლად და გასაუვნებელყოფად და ა. შ. ძირითადად ყველგან მოითხოვება მძლავრი პლაზმური წყაროები (პლაზმატრონები). მძლავრი პლაზმური ჭავლის მისაღებად ძირითადად გამოიყენება ელექტრო-რკალური პლაზმატრონები. ასეთი ტიპის პლაზმატრონებში ელექტრული რკალის დენი მთლიანად გადის პლაზმატრონის ელექტროდებში და დენის ძალის მომატება იწვევს მისი მწყობრიდან გამოსვლას. აგრეთვე ასეთი ტიპის პლაზმატრონებში პლაზმური ჭავლის ფორმირების არე შემოსაზღვრულია მყარი კედლებით და რკალის დენის გაზრდა იწვევს მისი რღვევას. ეს ზღუდავს პლაზმური ტექნოლოგიების გამოყენებას.

ნაშრომში ზემოქავერი პლაზმური წარმონაქმნის მიღება გათვალისწინებულია ისეთი მძლავრი ჩაკეტილი პლაზმური ჭავლის შექმნით, რომელიც არ არის შემოსაზღვრული მყარი კედლით და შექმნილია იმ დენით, რომელიც არ გადის პლაზმატრონის ელექტროდებში [13].

ფიზიკური პროცესები, რომლებიც მიმდინარეობენ მძლავრი, პლაზმური რკალის დენისაგან განტვირთული ელექტროდების მქონე, მყარი კედლებით შემოუზღუდავი, ჩაკეტილი პლაზმური ჭავლის გამაძლიერებელში (პლაზმური წარმონაქმნის მდგრადობა, დენის სიმკვრივე, პინჩ-ეფექტი, გამოსხივება, საორიენტაციო ტექნიკური პარამეტრები და ა. შ.) გამოკვლეული არ არის, ვინაიდან მყარი კედლებით შემოუზღუდავი, ჩაკეტილი პლაზმური ჭავლი აქამდე ცნობილი არ იყო.

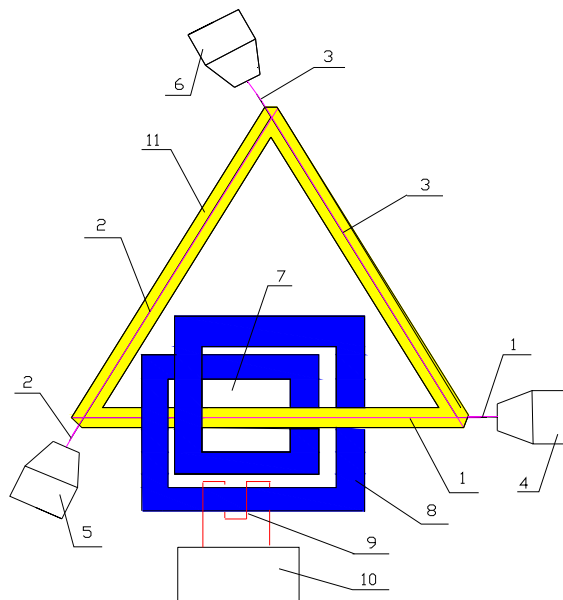
მძლავრი პლაზმური ჭავლის მისაღებად აუცილებელია რამდენიმე პრობლემის გადაწყვეტა:

1. პირველი პრობლემაა მყარი კედლებით შემოსაზღვრული ჩაკეტილი პლაზმური ჭავლის შექმნა (პლაზმური ამაჩქარებლებისაგან განსხვავებით). ამ პრობლემის გადასაწყვეტად გათვალისწინებულია

- მინიმუმ სამკუთხა ჩაკეტილი პლაზმური ჭავლის შექმნა (1, 2, 3) (ნახ. 13) მინიმუმ სამი დამხმარე პლაზმური ჭავლისაგან (4, 5, 6). ამასთან სამკუთხა ჩაკეტილი პლაზმური ჭავლის შექმნა შესაძლებელია სამი დამხმარე პლაზმური ჭავლით (პლაზმური ჭავლის პლაზმის გამაძლიერებელი) ან სამი გაზის ალის ჭავლით (გაზის ალის პლაზმის გამაძლიერებელი);
2. მეორე პრობლემაა ჩაკეტილ პლაზმურ ჭავლში დამატებითი ენერჯის ჩაწოდება. ჩაკეტილი პლაზმური ჭავლი შეადგენს შეზღუდული ზომების მქონე მხოლოდ ერთ ხვიას. ამიტომ მასში საკმარისი ელექტრომაგნიტური ძალის შექმნა რთული ტექნიკური პრობლემაა. ამ პრობლემის გადაწყვეტა პროექტში გათვალისწინებულია შემდეგნაირად: ჩაკეტილი პლაზმური ჭავლი მოთავსდება მაგნიტური კოჭის 7 რამდენიმე ხვიის შიგნით, რომლის ბოლოები ერთმანეთთან შეერთებულია, ხოლო ამ კოჭის ერთ-ერთ ხვიაზე მოთავსდება ერთი დენგამტარი ხვია 8, რომელიც მიუერთდება იმპულსურ კვების წყაროს 9. ამის შედეგად ელექტრომაგნიტური ძალა რომელიც წარმოიშვება ჩაკეტილ პლაზმურ ჭავლში ტოლი იქნება მაგნიტური კოჭის ხვიათა რაოდენობისა და დენგამტარ ხვიაზე მიწოდებული ძაბვის ნამრავლისა. ეს იძლევა ჩაკეტილ პლაზმურ ჭავლში დენის შეუზღუდავი გაზრდის საშუალებას ამ დენის ელექტროდებში გაუვლელად. თეორიულად იქმნება პლაზმური ჭავლის სიმძლავრის შეუზღუდავი გაზრდის საშუალება. ამდენად ეს მეთოდი იძლევა საშუალებას შეიქმნას მრავალი მძლავრი სხვადასხვა დანიშნულების პლაზმური დანადგარი. მათ შორის ეს მეთოდი შესაძლოა აღმოჩნდეს ერთ-ერთი გზა მართვადი თერმოკულოური რეაქციის განხორციელებისაკენ;
3. მესამე ძირითადი პრობლემაა მყარი კედლებით შემოუსაზღვრელი ჩაკეტილი პლაზმური ჭავლის მდგრადობის პარამეტრების განსაზღვრა. როგორც ცნობილია, პარამეტრების გარკვეული ერთობლიბისას, პლაზმურ ამჩქარებლებში პლაზმა ქრება, რაც ხელს უშლის პლაზმის ისეთი მაღალი კონცენტრაციებისა და ტემპერატურების მიღებას, რაც

საკმარისი იქნება, მაგალითად, მართული თერმოგულური რეაქციების მისაღებადაც კი. მოცემული პლაზმური ჭავლის გამაძლიერებელში პლაზმური ჭავლის გაქრობა შეუძლებელია, ვინაიდან მყარი კედლებით შემოუსაზღვრელი ჩაკეტილი პლაზმური ჭავლის არსებობა განპირობებულია დამოუკიდებელი პლაზმური წყაროებით, რომელთა ელექტროდებში არ გადის ჩაკეტილი პლაზმური ჭავლის ძირითადი დენი.

ნახაზ 13-ზე ახსნილია პლაზმური ჭავლის გაძლიერების ხერხი.



ნახაზი 13. პლაზმური ჭავლის გაძლიერების ხერხი: 1, 2 და 3- პლაზმური ჭავლის ჩაკეტილი კონტური; 4, 5 და 6- პლაზმური ჭავლის წარმომქმნელი ხელსაწყოები; 7- მაგნიტური გულანა; 8- მაგნიტური ხვია; 9- დენგამტარი ხვია; 10 კეების წყარო.

თავისუფალი პლაზმური ჭავლის ჩაკეტილი კონტური (1, 2, 3) შექმნილია შესაბამისად 4, 5 და 6 პლაზმური ჭავლის წარმომქმნელი ხელსაწყოებით. პლაზმური ჭავლის ერთერთ მონაკვეთზე პლაზმური ჭავლი გადის ჩაკეტილ მაგნიტურ გულანაში 7, რომელიც სასურველია დამზადებული იყოს ამორფული მაგნიტური მასალისაგან. გულანაზე დახვეულია დენგამტარი ხვია 9, რომელითაც გულანაში აღიძვრება

მაგნიტური ნაკადი. შემოთავაზებული პლაზმური ჭავლის მოქმედების პრინციპი მდგომარეობს შემდეგში: ავანთებთ 4, 5 და 6 პლაზმური ჭავლის წარმომქმნელ ხელსაწყოებს. მივიღებთ 1, 2 და 3 პლაზმურ ჭავლებს. პლაზმურ ჭავლებს განვათავსებთ ერთ სიბრტყეში ისე რომ ერთმანეთი გადაკვეთონ ხელსაწყოდან ჭავლის გამოსვლის სიახლოვეს 2 – 3 მმ დაცილებით. ამასთან ერთად ჭავლს გავატარებთ ჩაკეტილ მაგნიტურ გულანაში 7-ში. ასე შეიქმნება თავისუფალი პლაზმური ჭავლის ჩაკეტილი კონტური (1, 2, 3), რომელიც ფაქტიურად ტოლფასია ტრანსფორმატორის ერთი მეორადი ხვიისა. 9 ხვიის 9 კვების წყარისთან მიერთებისას 9 ხვია 7 მაგნიტურ გულანაში ქმნის მაგნიტურ ნაკადს რომელიც (1, 2, 3) თავისუფალი პლაზმური ჭავლის ჩაკეტილი კონტურში აღძრავს ელექტრომაგნიტური ძალას, რომელიც ამ კონტურში წარმოშობს დენს. ეს დენი არ გადის არც ერთ პლაზმური ჭავლის წარმომქმნელ ხელსაწყოში. ამიტომ პრაქტიკულად ამ დენის ძალის სიდიდე შეზღუდული არ არის. ამიტომ პრაქტიკულად ლიმიტირებული არ არის მიღებული პლაზმური ჭავლის ტემპერატურა და სიმძლავრე. გაძლიერების კოეფიციენტი შეიძლება იყოს 100 და მეტი.

ამ მეთოდის გამოყენებით შესაძლებელია დაპროექტდეს და დამზადდეს შემდეგი ტიპის პლაზმური დანადგარები:

1. მძლავრი პლაზმური ბურღი;
2. მძლავრი მეტალურგიული პლაზმური ღუმელი ახალი მასალების მისაღებად;
3. მძლავრი პლაზმური ღუმელი მანე სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო ნარჩენების გადასამუშავებლად;
4. მაგნიტოჰიდროდინამიკური გენერატორი წვის თბური ენერჯის ელექტრულ ენერჯიაში პირდაპირ გარდასაქმნელად;
5. მძლავრი პლაზმური ნათურა.

ამ ხერხის უნიკალობა მდგომარეობს იმაში, რომ პრაქტიკულად პირველად შეიქმნა პლაზმის გამაძლიერებელი შეუზღუდავ გარემოში კლასიკური გაგებით. კერძოდ შეიქმნა პლაზმური რკალის დენისაგან განტვირთული ელექტროდების მქონე, მყარი კედლებით შემოუზღუდავი,

ჩაკეტილი პლაზმური ჭავლის გაძლიერების მეთოდი, რაც საშუალებას მოგვცემს შეიქმნას მრავალი სხვა და სხვა სახის მძლავრი პლაზმური დანადგარი და შესაძლებელია აღმოჩნდეს ერთ-ერთი შესაძლო გზა მართვადი თერმობირთვული რეაქციის განხორციელებისაკენ.

კვლევების შედეგების მეთოდის პოტციური მომხმარებლები არიან ტექნიკური უნივერსიტეტები, სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტები და კომპანიები, რომლებიც იკვლევენ, ამუშავებენ და ამზადებენ პლაზმურ ტექნოლოგიურ დანადგარებს.

შემოთავაზებული პლაზმური ჭავლის გამაძლიერებელის რამდენიმე კვანძზე უკვე არსებობს რამდენიმე პატენტი, ხოლო მასში შეტანილ ახალ იდეებზე უკვე გაკეთებულია განაცხადები საქართველოს პატენტის მიღებაზე. აგრეთვე გათვალისწინებულია განაცხადების გაკეთება საერთაშორისო პატენტების მიღებაზე.

ზემოთ თქმულიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ შექმნილია პლაზმური ჭავლის გაძლიერების ხერხი, რაც გამოიხატება იმაში, რომ თავისუფალი პლაზმური ჭავლის ჩაკეტილი კონტური ჰკვეთს ცვლად მაგნიტურ ნაკადს, რომელიც აინდუქტირებს მასში ელექტრომამოძრავებელ ძალას. მაგნიტური ნაკადი თავისუფალი პლაზმური ჭავლის ჩაკეტილ კონტურში აღძრავს ელექტრომამოძრავებელ ძალას, რომელიც ამ კონტურში წარმოშობს დენს. ეს დენი არ გადის არც ერთ პლაზმური ჭავლის წარმომქმნელ ხელსაწყოში. ამიტომ პრაქტიკულად ამ დენის ძალის სიდიდე შეზღუდული არ არის. ამიტომ პრაქტიკულად ლიმიტირებული არ არის მიღებული პლაზმური ჭავლის ტემპერატურა და სიმძლავრე. გაძლიერების კოეფიციენტი შეიძლება იყოს 100 და მეტი.

& 3.3. მძლავრი პლაზმური ჭავლის მიღების ხერხი

ზემოთ განხილული ღია ტიპის მძლავრი პლაზმური წარმონაქმნის მიღების ხერხის გამოყენება სამთო საქმეში მიზანშეწონილია განსაკუთრებით დიდი სიმძლავრეების საჭიროების შემთხვევაში (200კვტ-ს ზემოთ). 50-200კვტ სიმძლავრეების შემთხვევებისათვის ჩვენ დამუშავებული გვაქვს მძლავრი პლაზმური ჭავლის მიღების ხერხი, რომელიც აღწერილია ქვემოთ [17].

ეს ხერხი უზრუნველფყოფს მძლავრი პლაზმური ჭავლის მიღებას უშუალოდ ერთ პლაზმატრონში ერთ ღერძზე რამდენიმე რკალის შეთავსებით, რომელსაც გააჩნია ყველა რკალის ჯამური სიმძლავრე, ხოლო პლაზმატრონის ჯამური დენი გადანაწილებულია რამდენიმე კათოდურ და ანოდურ ლაქაზე. ამასთან თითოეული რკალის კათოდი და ანოდი მიუერთებულია კვების წყაროსთან ცალცალკე, ინდივიდუალურად. ტრადიციულ პლაზმატრონებში (დამოუკიდებელი ქმედების პლაზმატრონები მილისებური კათოდითა და ანოდით) პლაზმატრონის დასაშვები სიმძლავრე განისაზრვრება პლაზმატრონის კათოდისა და ანოდის დასაშვები დენის ძალის სიდიდით. მაშასადამე, შემოთავაზებული მძლავრი პლაზმური ჭავლის მიღების ხერხის ამ ვარიანტის გამოყენების შემთხვევაში, მილისებურ ელექტროდებიანი დამოუკიდებელი ქმედების პლაზმატრონების დასაშვები დენის ძალის სიდიდე გაიზრდება იმდენჯერ, რამდენჯერაც გაიზრდება ასე დაწყვილებულ ელექტროდთა რაოდენობა.

დამუშავებული გვაქვს მძლავრი პლაზმური ჭავლის მიღების 2 ვარიანტი: 1. მძლავრი პლაზმური ჭავლის მიღების ხერხი ერთი კათოდითა და რამდენიმე ანოდით და 2. მძლავრი პლაზმური ჭავლის მიღების ხერხი რამდენიმე კათოდითა და რამდენიმე ანოდით.

მძლავრი პლაზმური ჭავლის მიღების ხერხი ერთი კათოდითა და რამდენიმე ანოდით ნაჩვენებია მე-14 ნახაზზე.

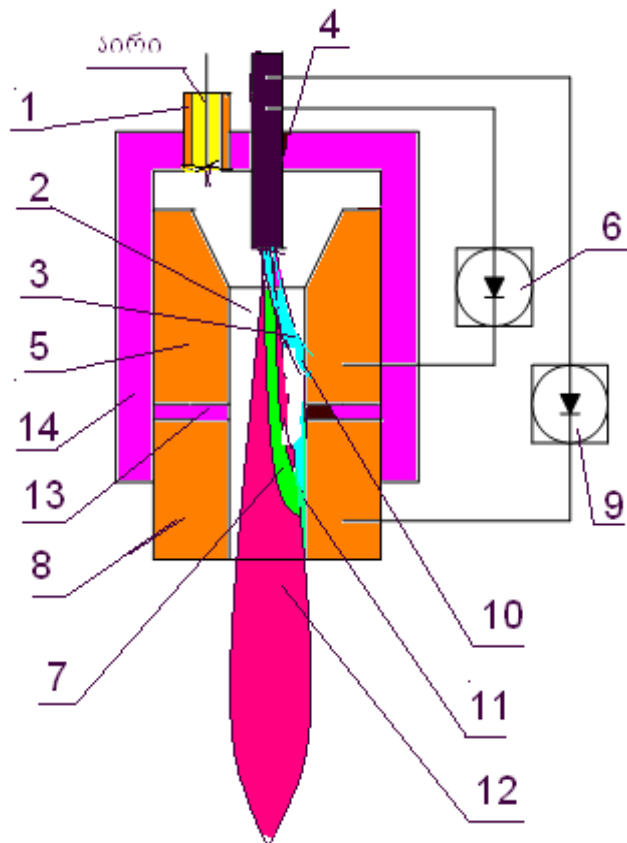
პლაზმატრონში პლაზმური ჭავლის ფორმირების არეში 2 მილი 1-ის მეშვეობით ჩავაწვდით აირს (ჰაერი, არგონი, წყალბადი და ასე შემდეგ, ან მათი ნარევი). კათოდი 4 და ანოდი 5 შორის ავანთებთ პირველ რკალს (რკალი 3). ეს რკალი იკვებება დენის წყარო 6-დან. შემდეგ კათოდი 4 და ანოდი 8 შორის ავანთებთ მეორე რკალს (რკალი 7). აირის გახურების შედეგად წარმოიქმნება მძლავრი პლაზმური ჭავლი 12, რომელსაც გააჩნია ორივე რკალის ჯამური სიმძლავრე, ხოლო პლაზმატრონის ჯამური დენი გადანაწილებულია ორ ანოდურ ლაქაზე. ჩვეულებრივად აღწერილი ტიპის პლაზმატრონებში (დამოუკიდებელი ქმედების პლაზმატრონები ცენტრალური კათოდით) კათოდის დასაშვები დენის ძალის სიდიდე 2-ჯერ და მეტჯერ აღემატება ანოდის დასაშვები დენის ძალის სიდიდეს.

მაშასადამე შემოთავაზებული მძლავრი პლაზმური ჭავლის მიღების ხერხის გამოყენების შემთხვევაში ცენტრალურ კათოლიანი დამოუკიდებელი ქმედების პლაზმატრონების დასაშვები დენის ძალის სიდიდე განისაზღვრება მხოლოდ კათოდის დასაშვები დენის ძალის სიდიდით.

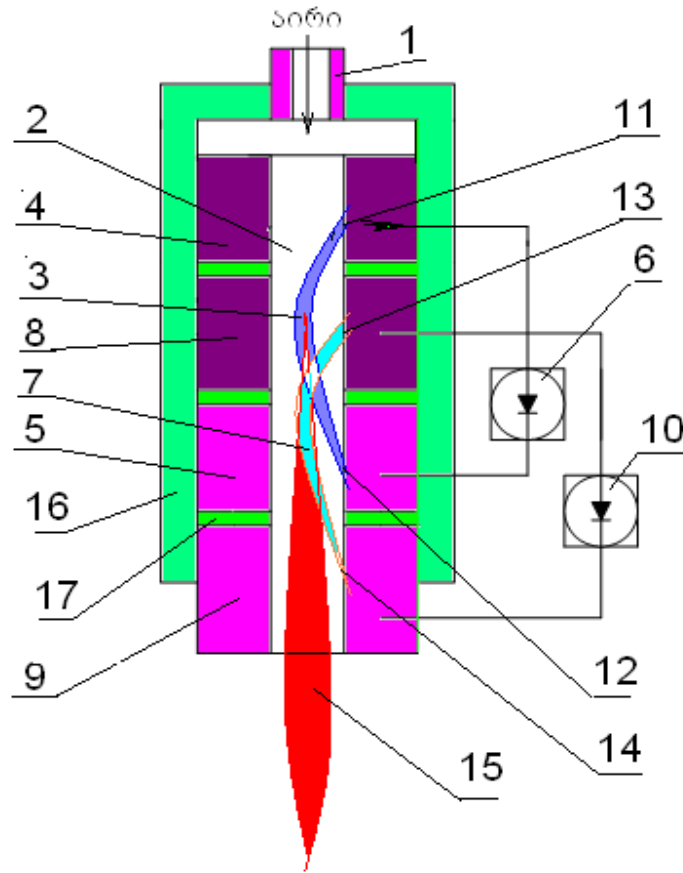
მძლავრი პლაზმური ჭავლის მიღების ხერხი რამდენიმე კათოდითა და რამდენიმე ანოდით ნაჩვენებია მე-15 ნახაზზე.

პლაზმატრონში პლაზმური ჭავლის ფორმირების არეში 2 მილი 1-ის მეშვეობით ჩავაწვდით აირს (ჰაერი, არგონი, წყალბადი და ასე შემდეგ ან მათი ნარევი). კათოდი 4 და ანოდი 5 შორის ავანთებთ პირველ რკალს (რკალი 3). ეს რკალი იკვებება დენის წყარო 6-დან. შემდეგ კათოდი 8 და ანოდი 9 შორის ავანთებთ მეორე რკალს (რკალი 7). აირის გახურების შედეგად წარმოიქმნება მძლავრი პლაზმური ჭავლი 15, რომელსაც გააჩნია ორივე რკალის ჯამური სიმძლავრე, ხოლო პლაზმატრონის ჯამური დენი გადანაწილებულია ორ კათოდურ და ორ ანოდურ ლაქაზე. ჩვეულებრივად პლაზმატრონის სიმძლავრე განისაზღვრება პლაზმატრონის კათოდისა და ანოდის დასაშვები დენის ძალის სიდიდით. მაშასადამე, შემოთავაზებული მძლავრი პლაზმური ჭავლის მიღების ხერხის ამ ვარიანტის გამოყენების შემთხვევაში, მილისებურ ელექტროდებიანი დამოუკიდებელი ქმედების პლაზმატრონების დასაშვები დენის ძალის სიდიდე გაიზრდება იმდენჯერ, რამდენჯერაც გაიზრდება ასე დაწყვილებულ ელექტროდთა რაოდენობა.

შესაძლებელია მრავალი სხვა ვარიანტი იმისდამხედვით თუ რამდენია იზოლირებული კათოდებისა და ანოდების რაოდენობა.



ნახაზი 14. მძლავრი პლაზმური ჭავლის მიღების ხერხი ერთი კათოდითა და რამდენიმე ანოდით: 1- მილი; 2- პლაზმური ჭავლის ფორმირების არე; 3- პირველი რკალი; 4- კათოდი; 5- პირველი ანოდი; 6- პირველი კვების წყარო; 7- მეორე რკალი; 8- მეორე ანოდი; 9- მეორე კვების წყარო; 10 და 11- ანოდური ლაქები; 12- პლაზმური ჭავლი; 13 და 14 იზოლატორები.



ნახაზი 15. რამდენიმე კათოდითა და რამდენიმე ანოდით მძლავრი პლაზმური ჭავლის მისაღები ხერხის განხორციელების სქემა: 1- მილი; 2- პლაზმური ჭავლის ფორმირების არე; 3- პირველი რკალი; 4- კათოდი; 5 - ანოდი; 6- პირველი კეების წყარო; 7- მეორე რკალი; 8- მეორე კათოდი; 9- ანოდი; 10- მეორე კეების წყარო; 11- კათოდური ლაქა; 12- ანოდური ლაქა; 13- მეორე კათოდური ლაქა; 14- მეორე ანოდური ლაქა; 15- პლაზმური წველი; 16 და 17 – იზოლაციორები.

§3.4. პლაზმური ბურღვის ახლი მეთოდი და ბურღვის სიმძლავრის გაანგარიშება ამ მეთოდისათვის

ამ პარაგრაფში განხილულია პლაზმური ბურღვის ახლი მეთოდი და ბურღვის სიმძლავრის გაანგარიშება ამ მეთოდისათვის. პლაზმური ბურღვის ახალი მეთოდი ითვალისწინებს ბურღვის ნაცმის პლაზმით გახურებას, ამ გახურებული ნაცმით ქანის გაღწობას და ნაცმის ჩაღრმავებას გამდნარ

ქანში. ეს ხდება ქანის გადნობისას ქანის ფორიანობის შემცირების შედეგად ქანის მოცულობის შემცირებისა და გამოყოფილი გაზების შეკუმშვის ხარჯზე. შემოთავაზებული ხერხი უზრუნველყოფს ბურღის ნაცმის ჩაღრმავებას ქანში ქანის ნაწილის ზედაპირზე გამოტანის გარეშე. ამით მარტივდება ჭაბურღილის გაყვანა და იზრდება ბურღვის სიჩქარე.

პლაზმური ბურღვის ახალი მეთოდი ითვალისწინებს ბურღის ნაცმის პლაზმით გახურებას, ამ გახურებული ნაცმით ქანის გადნობას და ნაცმის ჩაღრმავებას გამდნარ ქანში, ქანის გადნობისას ქანის ფორიანობის შემცირების შედეგად, ქანის მოცულობის შემცირებისა და გამოყოფილი გაზების შეკუმშვის ხარჯზე.

მეთოდი განეკუთვნება ბურღვის ტექნოლოგიებს. კერძოდ ღრმა ბურღვის ტექნიკას.

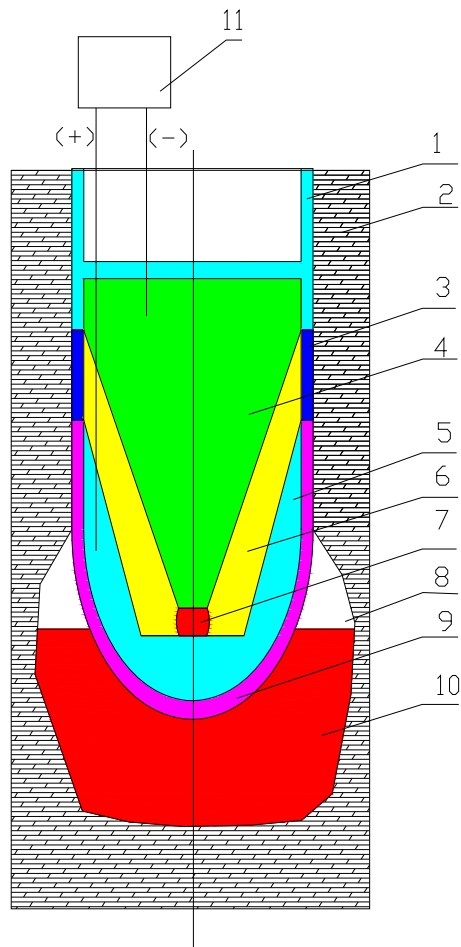
ცნობილია მექანიკური ბურღვის ხერხები [102], რომელთა ნაკლია ის, რომ ყველა ეს ხერხი ითვალისწინებს მორღვეული მასალის ზედაპირზე ამოტანას, რაც ართულებს ბურღვის პროცესს.

ცნობილია აგრეთვე თერმიული ბურღვის ხერხი [103], რომელიც ითვალისწინებს გაზის სანათურების ჭავლით ქანის მორღვევას და გაზის ნაკადის მეშვეობით მორღვეული მასალის გამოტანას ზედაპირზე. მაგრამ ღრმა ბურღვის შემთხვევაში ამ პროცესის განხორციელება შეუძლებელია მაღალი წნევების გამო.

ცნობილია აგრეთვე პლაზმური ბურღვის ხერხიც [104], რომელიც ითვალისწინებს პლაზმური ჭავლით ქანის მორღვევას და გაზის ნაკადის მეშვეობით მორღვეული მასალის გამოტანას ზედაპირზე. ღრმა ბურღვის შემთხვევაში ამ პროცესის განხორციელება აგრეთვე შეუძლებელია მაღალი წნევების გამო.

ჩვენს მიერ დამუშავებული პლაზმური ბურღვის ახალი მეთოდი უზრუნველყოფს ბურღის ნაცმის ჩაღრმავებას ქანში ქანის ზედაპირზე ამოტანის გარეშე. ამით მარტივდება ჭაბურღილის გაყვანა და იზრდება ბურღვის სიჩქარე.

მე-16 ნახაზზე ახსნილია პლაზმური ბურღვის მეთოდი, როდესაც პლაზმური ბურღის ანოდი და კათოდი იზოლირებულია ქანისაგან.

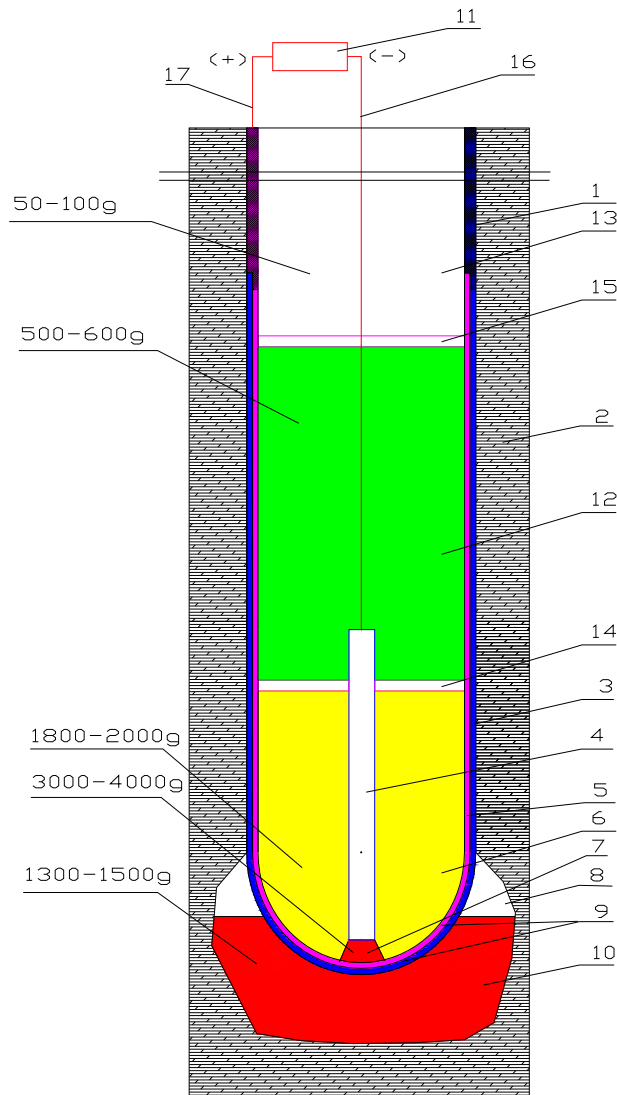


ნახაზი 16. პლაზმური ბურღის მეთოდის განხორციელების სქემა, როდესაც პლაზმური ბურღის ანოდი და კათოდი იზოლირებულია ქანისაგან: 1- მილი; 2- ქანი; 3- იზოლატორი; 4- კათოდი; 5- ანოდი; 6- პლაზმა; 7- რკალი; 8- შეკუმშული გაზის ბალიში; 9- ნაცმი; 10- გამდნარი ქანი; 11- დენის წყარო.

მიღზე 1 წამოცმულია იზოლატორი 3, კათოდი 4 და ნაცმი 9, რომელიც ჩაეწოდება ქანში 2. ნაცმში 9 მოთავსებულია ანოდი 5 და კათოდი 4. კათოდსა 4 და ანოდს 5 შორის ანთი რკალი 7, რომელიც იკვებება დენის წყაროდან 11 და ახურებს კათოდსა 4 და ანოდს 5 შორის მოთავსებულ გაზს მაღალ ტემპერატურამდე და წარმოქმნის პლაზმას 6. პლაზმა 6 ახურებს მაღალ ტემპერატურამდე ნაცმს 9, რომელიც ადნობს ქანს 2. გამდნარი ქანში 10 ხდება ფორების შევსება და გაზის გამოყოფა, რის

შედგებადაც ხდება ქანის მოცულობის შემცირება და შეკუმშული გაზის 8 ბალიშის წარმოშობა. მილის 1 სიძიძის ძალის გავლენით ხდება ნაცმის 9 ჩაძირვა გამდნარ ქანში 10 მანამ, სანამ შეკუმშული გაზის 8 წნევა არ გაუტოლდება ნაცმზე 9 მილის 1 დაწოლით გამოწვეულ წნევას. ნაცმის 9 (შესაბამისად მთლიანად ბურღის) გადაადგილება ხდება მანამ, სანამ დენის წყაროდან 11 რკალს 7 მიეწოდება იმდენი ენერგია, რომ შეკუმშული გაზის 8 წნევა ქანის 1-დან ახალ ახალი გამდნარი მასიდან გამოყოფილი სივრციდან, იქნება ნაკლები ნაცმზე 9 მილის 1 დაწოლით გამოწვეული წნევაზე. ამით უზრუნველყოფილია ბურღის გადაადგილება ქანში ისე, რომ არ მოხდეს ნაბურღი ქანის ამოტინა ზედაპირზე.

მე-17 ნახაზზე ასხნილია პლაზმური ბურღვის მეთოდი, როდესაც ქანისაგან იზოლირებულია მხოლოდ პლაზმური ბურღის კათოდი.



ნახაზი 17. ბურღვის მეთოდის განხორციელების სქემა, როდესაც ქანისაგან იზოლირებულია მხოლოდ პლაზმური ბურღვის კათოდი: 1- მილი; 2- ქანი; 3- იზოლატორი; 4- კათოდი; 5- ანოდი; 6- პლაზმა; 7- რკალი; 8- შეკუმშული გაზის ბალიში; 9- ნაცმი; 10- გამდნარი ქანი; 11- დენის წყარო; 12-ბუფერული არე; 13-დაბალი ტემპერატურების არე; 14 და 15- შამოტის იზოლატორები; 16 და 17- დენგამტარები.

მიღზე 1 წამოცმულია ნაცმი 9, რომელიც შედგება ტემპერატურამდევი ანოდის 5 და ქიმიურად, ტემპერატურულად და მექანიკურად მედევი დამცავი საფარისაგან 3. ნაცმი 9 ჩაეწოდება ქანში 2. ნაცმში 9

მოთავსებულია ანოდი 5 და კათოდი 4. კათოდსა 4 და ანოდს 5 შორის ანთია რკალი 7, რომელიც იკვებება დენის წყაროდან 11 დენგამტარებით 16 და 17 და ახურებს კათოდსა 4 და ანოდს 5 შორის მოთავსებულ გაზს მაღალ ტემპერატურამდე და წარმოქმნის პლაზმას 6. პლაზმა 6 ახურებს მაღალ ტემპერატურამდე ნაცმს 9, რომელიც აღნობს ქანს 2. გამდნარი ქანში 10 ხდება ფორების შევსება და გაზის გამოყოფა, რის შედეგადაც ხდება ქანის მოცულობის შემცირება და შეკუმშული გაზის 8 ბალიშის წარმოშობა. მილის 1 სიმძიმის ძალის გავლენით ხდება ნაცმის 9 ჩაძირვა გამდნარ ქანში 10 მანამ, სანამ შეკუმშული გაზის 8 წნევა არ გაუტოლდება ნაცმზე 9 მილის 1 დაწოლით გამოწვეულ წნევას. ნაცმის 9 (შესაბამისად მთლიანად ბურღის) გადაადგილება ხდება მანამ, სანამ დენის წყარო 11-დან რკალს 7 მიეწოდება იმდენი ენერგია, რომ შეკუმშული გაზის 8 წნევა ქანის 1-დან ახალ ახალი გამდნარი მასიდან გამოყოფილი სივრციდან, იქნება ნაკლები ნაცმზე 9 მილის 1 დაწოლით გამოწვეული წნევაზე. ამით უზრუნველყოფილია ბურღის გადაადგილება ქანში ისე, რომ არ მოხდეს ნაბურღი ქანის ამოტინა ზედაპირზე.

პლაზმური ბურღვის ხერხის განხორციელების კონკრეტული ვარიანტი, როდესაც პლაზმური ბურღის ანოდი და კათოდი იზოლირებულია ქანისაგან, ასეთია (ნახაზი 16):

ტემპერატურამდეგი ფოლადის მილი 1, შამოტის იზოლატორი 3, ვოლფრამის კათოდი 4, ვოლფრამის ანოდი 5 და ნაცმი 9 – ით შექმნილი კვანძი აიწყობა ჰერმეტიულად ისე, რომ მათ შორის მოთავსებულ გაზს (მაგალითად არგონს) გააჩნდეს გარკვეული წნევა (მაგალითად ატმოსფერული წნევა). ანოდს და კათოდს მართკუთხა მახასიათებლის მქონე დენის წყაროდან 11 მიეწოდება 180 ვოლტი ძაბვა. კათოდი 4 და ანოდი 5 შორის აინთება რკალი 7 (მაგალითად ოსცილატორის მეშვეობით, რომელიც მოთავსებულია დენის წყაროში 11). რკალი 7 ახურებს კათოდსა 4 და ანოდს 5 შორის მოთავსებულ გაზს მაღალ ტემპერატურამდე და წარმოქმნის პლაზმას 6. პლაზმა 6 ახურებს მაღალ ტემპერატურამდე ნაცმს 9, რომელიც აღნობს ქანს 2. გამდნარი ქანში 10 ხდება ფორების შევსება და გაზის გამოყოფა, რის შედეგადაც ხდება ქანის მოცულობის

შემცირება და შეკუმშული გაზის 8 ბალიშის წარმოშობა. მილის 1 სიმიძის ძალის გავლენით ხდება ნაცმის 9 ჩაძირვა გამდნარ ქანში 10. გამდნარი ქანის მინიმალური მოცულობა მუდამ რჩება ისე, რომ ნაცმის მოცულობა ნაკლები იყოს გამდნარი ქანის რაოდენობისა და ქანის ფორიანობის კოეფიციენტის ნამრავლისა. ამ თანაფარდობით განისაზღვრება ბურღვის სიჩქარე. ამით უზრუნველყოფილია ბურღის გადაადგილება ქანში ისე, რომ არ მოხდეს ნაბურღი ქანის ამოტინა ზედაპირზე.

პლაზმური ბურღვის ხერხის განხორციელების მეორე კონკრეტული ვარიანტი, როდესაც ქანისაგან იზოლირებულია მხოლოდ პლაზმური ბურღის კათოდი, ასეთია (ნახაზი 17):

ვოლადის მილი 1, ნაცმი 9, რომელიც შედგება ვოლფრამის ანოდისა 5 და ნახშირბადიანი კაუბადის (SiC) დამცავი საფარისაგან 3, ვოლფრამის კათოდი 4, შამოტის იზოლატორები 14 და 15 – ით შექმნილი კვანძი აიწყოება ჰერმეტიულად ისე, რომ იქმნება ორი არე: პირველი არე, რომელშიც ანთია რკალი 7 (ტემპერატურა 3000°C – დან 4000°C – მდე) და წარმოიქმნება პლაზმა 6 (ტემპერატურა 1800°C – დან 2000°C – მდე) და მეორე ბუფერული არე (ტემპერატურა 500°C – დან 600°C – მდე), ვოლფრამის ქიმიური რღვევა უკვე არ მიმდინარეობს. ანოდს 5 და კათოდს 4 დენგამტარებით 16 და 17 მართკუთხა მახასიათებლის მქონე დენის წყაროდან 11 მიეწოდება 180 ვოლტი ძაბვა. კათოდი 4 და ანოდი 5 შორის აინთება რკალი 7 (მაგალითად ოსცილატორის მეშვეობით, რომელიც მოთავსებულია დენის წყაროში 11). რკალი 7 ახურებს კათოდს 4 და ანოდს 5 შორის მოთავსებულ გაზს მაღალ ტემპერატურამდე და წარმოქმნის პლაზმას 6. პლაზმა 6 ახურებს მაღალ ტემპერატურამდე ნაცმს 9, რომელიც ადნობს ქანს 1. გამდნარი ქანში 10 ხდება ფორების შევსება და გაზის გამოყოფა, რის შედეგადაც ხდება ქანის მოცულობის შემცირება და შეკუმშული გაზის 8 ბალიშის წარმოშობა. მილის 2 სიმიძის ძალის გავლენით ხდება ნაცმის 9 ჩაძირვა გამდნარ ქანში 10. გამდნარი ქანის მინიმალური მოცულობა მუდამ რჩება ისე, რომ ნაცმის

მოცულობა ნაკლები იყოს გამდნარი ქანის რაოდენობისა და ქანის ფორიანობის კოეფიციენტის ნამრავლისა. ამ თანაფარდობით განისაზღვრება ბურღვის სიჩქარე. ამ შემთხვევაშიც უზრუნველყოფილია ბურღვის გადაადგილება ქანში ისე, რომ არ მოხდეს ნაბურღი ქანის ამოტინა ზედაპირზე.

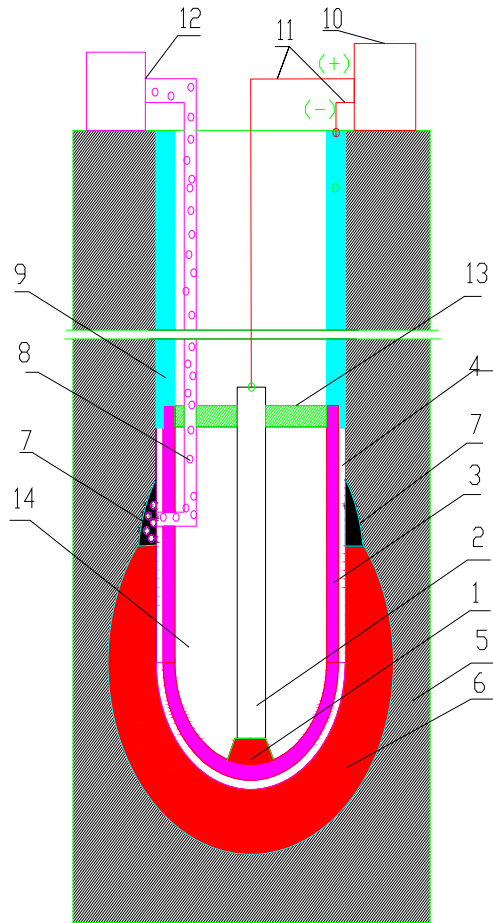
§3.5. პლაზმური ბურღვის ხერხი, რომელიც გამორიცხავს სამაგრი მიწების გამოყენებას

ხერხი ისევე ითვალისწინებს ბურღვის ნაცმის პლაზმით გახურებას, ამ გახურებული ნაცმით ქანის გადნობას და გამდნარ ქანში ქანის გადნობისას ქანის ფორიანობის შემცირების შედეგად ქანის მოცულობის შემცირებისა და გამოყოფილი გაზების შეკუმშვის ხარჯზე ნაცმის ჩაღრმავებას ქანში. ქანის მცირე ან საშუალო ფორიანობის შემთხვევაში ბურღვის ამოღების შემდეგ გაცივებული ქანი ქმნის უწყვეტ კედელს ამიტომ სამაგრი მიწის ჩაშვება ჭაბურღილში საჭირო არ არის. მაგრამ ქანის დიდი ფორიანობის შემთხვევაში კიდევ რჩება სიცარიელე. ამ შემთხვევაში სიცარიელის ამოსავსებად სიცარიელის არეში დნობის პროცესში ჩაემატება დამატებითი მასალა, რაც უზრუნველყოფს სიცარიელის სრულად შევსებას. ამის გამო პლაზმური ბურღვის ამოღების შემდეგ, რჩება მთლიანი კედელი, რაც მიიღება გამდნარი ქანისა და დამატებული გამდნარი მასალის გაცივების შემდეგ. შედეგად ამისა ბურღვის დამთავრების შემდეგ სამაგრი მიწების გამოყენების აუცილებლობა არ არსებობს. ამით მარტივდება ჭაბურღილის გაყვანა და ექსპლუატაცია.

მე-18 ნახაზზე ასხნილია პლაზმური ბურღვის ეს ხერხი.

პლაზმური რკალი 1 ანთია კათოდი 2 და ნაცმი 3 შორის. ნაცმი დაცულია ტემპერატურულად და ქიმიურად მედეგი შემონაფენით 4. ნაცმი ახურებს ქანს 5 და მიიღება გამდნარი ქანი 6. ქანის გადნობის შედეგად ხდება ფორების შევსება და წარმოიქმნება სიცარიელე 7. ნაცმის გამდნარ ქანში ჩაღრმავების შედეგად გამდნარი ქანი ავსებს ამ სიცარიელეს, რის

ხარჯზეც ხდება ნაცმის ჩადრმავეება ქანში (ამით ხორციელდება ბურღვის პროცესი) და ნაბურღი ქანის ამოტანა ზედაპირზე საჭირო არ არის. მაგრამ ქანის დიდი ფორიანობის შემთხვევაში კიდევ რჩება სიცარიელე. ამ შემთხვევაში სიცარიელის ამოსავსებად სიცარიელის არეში დნობის პროცესში ჩაემატება დამატებითი მასალა 8, რაც უზრუნველყოფს სიცარიელის სრულად შევსებას. ამის გამო პლაზმური ბურღის ამოღების შემდეგ, რჩება მთლიანი კედელი, რაც მიიღება გამდნარი ქანისა და დამატებული გამდნარი მასალის გაცივების შედეგად. შედეგად ამისა ბურღვის დამთავრების შემდეგ სამაგრი მილების 9 გამოყენების აუცილებლობა არ არსებობს. პლაზმურ რკალს დენი მიეწოდება დენის წყაროდან 10 გამტარების 11 მეშვეობით. დენის წყაროს (-) მიერთებულია კათოდთან, ხოლო (+) სამაგრი მილით მიეწოდება ნაცმს (ანოდს), ესეიგი (+) დამიწებულია. შესაძლებელია (+) მიწისაგან იზოლირებული იყოს და ისე მიეწოდოს ნაცმს. სიცარიელეს დამატებითი მასალა მიეწოდება მასალის მიმწოდებელი მექანიზმით 12. კათოდი, ნაცმი და იზოლატორი 13 დაცულია ინერტული აირით 14 (მაგალითად არგონით).



ნახაზი 18. პლაზმური ბურღვის ხერხი დამატებითი მასალის ჩამატებით

დამატებითი მასალის ჩამატებით პლაზმური ბურღვის ხერხის განხორციელების კონკრეტული ვარიანტი ასეთია (ნახაზი 18):

შამოტის იზოლატორის 13 და ვოლფრამის კათოდი 2 და ვოლფრამის ნაცმი (ანოდი) 3 – ით შექმნილი კვანძი აიწყობა ჰერმეტიულად ისე, რომ მათ შორის მოთავსებულ გაზს (მაგალითად არგონს) გააჩნდეს გარკვეული წნევა (მაგალითად ატმოსფერული წნევა). ანოდს და კათოდს მართკუთხა მახასიათებლის მქონე დენის წყარო 10-დან მიეწოდება 180 ვოლტი ძაბვა. კათოდი 2 და ანოდი 3 შორის აინთება რკალი 1 (მაგალითად ოსცილატორის მეშვეობით, რომელიც მოთავსებულია დენის წყარო 10-ში). რკალი 1 ასურებს კათოდსა 2 და ანოდს 3 შორის მოთავსებულ გაზს მაღალ ტემპერატურამდე და წარმოქმნის პლაზმას 1. პლაზმა ასურებს მაღალ ტემპერატურამდე ნაცმს 3, რომელიც ადნობს ქანს 5. გამდნარი

ქანში 6 ხდება ფორების შევსება და გაზის გამოყოფა, რის შედეგადაც ხდება ქანის მოცულობის შემცირება და შეკუმშული გაზის 7 ბალიშის წარმოშობა. მილის 9 სიმძიმის ძალის გავლენით ხდება ნაცმის 3 ჩაძირვა გამდნარ ქანში 6. გამდნარი ქანის მინიმალური მოცულობა მუდამ რჩება ისე, რომ ნაცმის მოცულობა ნაკლები იყოს გამდნარი ქანის რაოდენობისა და ქანის ფორიანობის კოეფიციენტის ნამრავლისა. ამ თანაფარდობით განისაზღვრება ბურღვის სიჩქარე.

ქანის მცირე ან საშუალო ფორიანობის შემთხვევაში ბურღვის ამოღების შემდეგ გაცივებული ქანი ქმნის უწყვეტ კედელს ამიტომ სამაგრი მილის ჩაშვება ჭაბურღილში საჭირო არ არის. მაგრამ ქანის დიდი ფორიანობის შემთხვევაში კიდევ რჩება სიცარიელე. ამ შემთხვევაში სიცარიელის ამოსავსებად სიცარიელის არეში დნობის პროცესში ჩაემატება დამატებითი მასალა 8, რაც უზრუნველყოფს სიცარიელის სრულად შევსებას. ამის გამო პლაზმური ბურღვის ამოღების შემდეგ, რჩება მთლიანი კედელი, რაც მიიღება გამდნარი ქანისა და დამატებული გამდნარი მასალის გაცივების შემდეგ. შედეგად ამისა ბურღვის დამთავრების შემდეგ სამაგრი მილების 9 გამოყენების აუცილებლობა არ არსებობს.

შემოთავაზებული პლაზმური ბურღვის მეთოდების სიახლე განაპირობებს მისი პარამეტრების დადგენისა და ამ პარამეტრების შედარებით ანალიზის აუცილებლობას ბურღვის სხვა მეთოდებთან მიმართებაში. ქვემოთ წარმოდგენილია პლაზმური ბურღვის სიმძლავრის გაანგარიშების მეთოდიკა შემოთავაზებული პლაზმური ბურღვის მეთოდებისათვის.

გაანგარიშებისათვის მოცემულად მიღებულია შემდეგი პარამეტრები:

1. v – ბურღვის სიჩქარე, მ/წმ;
2. D – ბურღვის გარე დიამეტრი, მ;
3. C – ქანის სითბოტევადობის კოეფიციენტი, კალ/კგ.⁰C
4. q - ქანის დნობის სითბო, კალ/კგ;
5. F_0 – ქანის ფორიანობის კოეფიციენტი;

6. F_e – ქანის ფორიანობის კოეფიციენტი ბურღის გავლის შემდეგ;
 7. T_0 – ქანის ტემპერატურა ბურღვის პროცესის დაწყებისას, $^{\circ}\text{C}$;
 8. T - ქანის დნობის ტემპერატურა, $^{\circ}\text{C}$;
 9. g - ქანის სიმკვრივე, კგ/მ³ ;
 10. K_1 – ბურღის თბური მარგი ქმედების კოეფიციენტი;
 11. K_2 - ბურღის ელექტრული მარგი ქმედების კოეფიციენტი;
- ბურღის მოხმარებული ელექტრული სიმძლავრე იანგარიშება ფორმულით

$$W = \frac{4,19Q}{K_1 K_2 t}, \quad (2.51)$$

სადაც:

t - დროა, წმ;

W - არის ბურღის მოხმარებული ელექტრული სიმძლავრე, ვატი;

Q - ბურღის მოხმარებული სითბოს რაოდენობა, კაღ.

ბურღის მოხმარებული სითბოს რაოდენობა არის

$$Q = Cm(T - T_0) + qm, \quad (2.52)$$

სადაც m არის გამდნარი ქანის მასა, კგ;

გასაღწიხი ქანის მასა

$$m = \frac{3.14 g D^2 v t}{4(F_0 - F_e)}, \quad (2.53)$$

სადაც t არის ბურღვის დრო. წმ.

(2.51), (2.52) და (2.53) – დან ვღებუღობთ პღაზღმური ბურღის მოხმარებული ელექტრული სიმძღავრის საანგარიშო ფორმულას

$$W = \frac{3.3gvD^2[C(T - T_0) + q]}{K_1 K_2 (F_0 - F_e)}. \quad (2.54)$$

§3.6. სამთო წარმოების ნარჩენების პლაზმური გადამუშავების მეთოდების დამუშავება

ადამიანის არსებობის შედეგად წარმოშობილი ნარჩენების გადამუშავება სასარგებლო პროდუქტად ან, მავნეობის შემთხვევაში, მისი განადგურება მეცნიერებისა და ტექნოლოგიების უმთავრესი ამოცანაა. ეს განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ორი მიზეზის გამო:

1. საქართველოში დარჩენილია მრავალი მილიონი ტონა სამთო მომპოვებელი და მეტალურგიული წარმოების ნარჩენები, რომელიც ფაქტიურად მრავალი სასარგებლო ნივთიერების საბაღოა;
2. საქართველო, როგორც მომავალი ტურიზმის ქვეყანა საჭიროებს სამრეწველო ნარჩენების გადამუშავების უზრუნველყოფას მაღალ დონეზე. ნარჩენების სრული გადამუშავება მიიღწევა პლაზმურ ღუმელებში.

ჩვენს მიერ დამუშავებულია ისეთი სამრეწველო ნარჩენების პლაზმური გადამუშავების ხერხი, რომლებსაც კარგი ელექტროგამტარებლობა გააჩნიათ. ესენია ქვანახშირის გამდიდრების ნარჩენები (ტყიბული, ახალციხე, ტყვარჩელი) და მეტალურგიული ნარჩენები (რუსთავი, ზესტაფონი).

რიგითი და ხარისხოვანი ფოლადების მიღების პროცესის საბოლოო ეტაპს წარმოადგენს ზედმეტი ჟანგბადის მოშორება ანუ განჟანგვა. ამ მიზნით გამოიყენება აქტიური განმჟანგველი ძვირად ღირებული პირველადი ან მეორადი 99% სისუფთავის ალუმინი. განჟანგვას ატარებენ ღუმელიდან ციცხვში ფოლადის გამოშვების პროცესში. მაგრამ ალუმინის მცირე წონის გამო, რომელიც ფოლადთან შედარებით სამჯერ უფრო მსუბუქია, იგი ტივტივებს ლითონის ზედაპირზე, განიცდის დაჟანგვას ჰაერისა და წილის ზემოქმედებით და ამის შედეგად უსარგებლოდ იკარგება 70-90% ალუმინი, რაც უარყოფითად მოქმედებს ფოლადის თვითღირებულებაზე. ამის გამო გამოიყენება ალუმინის შენადნობები სხვადასხვა დამამძიმებელ ელემენტებთან, ე.წ. კომპლექსური განმჟანგველები. ერთერთი ასეთი ფართოდ გამოყენებული განმჟანგველია

ფეროსილიკოალუმინი. ფოლადის განჯანგვის გარდა ფეროსილიკოალუმინი გამოიყენება ფეროშენადნობების: ფერომოლიბდენის, ფროვანადიუმის და სხვათა მისაღებად. ამდენად ფეროსილიკოალუმინი წარმოადგენს მრავალმხრივი გამოყენების შენადნობს.

ფეროსილიკოალუმინის გამოდნობა წარმოებს მაღალ ტემპერატურულ პირობებში სპეციალურ ღუმელებში. ტრადიციული ტექნოლოგიით საკაზმე მასალად გამოიყენება ბოქსიტები და მათი გადამუშავების შედეგად მიღებული ელექტროკორუნდები.

ეკონომიკური თვალსაზრისით მიზანშეწონილია არატრადიციული ხერხით ფეროსილიკოალუმინის მისაღებად უფრო იაფი მასალების გამოყენება, როგორცაა ალუმოსილიკატები, ქვანახშირის გამდიდრების ნარჩენები და თბოსადგურებში ქვანახშირების დაწვის შედეგად მიღებული შლაკები (წიდეები).

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ქვანახშირის გამდიდრების ნარჩენების და წიდეების გამოყენება როგორც ეკოლოგიური ასევე ეკონომიკური თვალსაზრისით. ეს ერთერთი იშვიათი შემთხვევაა როდესაც წარმოების მაგნე ნარჩენების გადამუშავება დიდ ეკოლოგიურ ეფექტთან ერთად დიდ ეკონომიკურ ეფექტს იძლევა და საინტერესოა როგორც სახელმწიფო ასევე კერძო მეწარმეებისათვის. მილიონობით ტონა ქვანახშირის გამდიდრების ნარჩენების გადამუშავებით საგრძნობლად გაუმჯობესდება ტყიბულის ეკოლოგიური გარემო და თავიდან იქნება აცილებული ნარჩენების მიწისპირული და მიწის ზედა მომწამვლელი გავლენა. ხოლო რაც შეეხება ეკონომიკურ ეფექტს თვითონ ფეროსილიკოალუმინზე დიდი მოთხოვნილებაა საერთაშორისო ბაზარზე და მისი გაყიდვა დიდ მოგებას მოუტანს წარმოებას.

ტყიბულის ქვანახშირის გამდიდრების ნარჩენების პროცენტული ქიმიური შემადგენლობა საშუალოდ ასეთია:

ქვანახშირი -----	8.8
Al ₂ O ₃ -----	17
Si O ₂ -----	40
Fe ₂ O ₃ -----	14.3

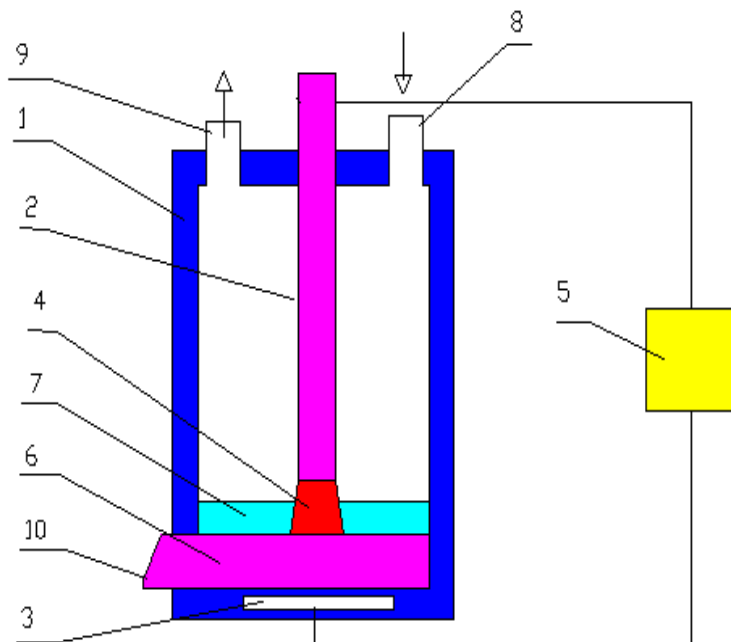
CaO ----- 0.5

ტენი ----- 19.4

ჩვენს მიერ დამუშავებული ამ ნარჩენების პლაზმური გადამუშავების ხერხი საშუალებას იძლევა მივიღოთ მთელი მასის 40% ფეროსილიკოალუმინი, რომელის ღირებულება იქნება არანაკლებ ორჯერ მცირე ვიდრე ნებისმიერი სხვა გზით მიღებული ფეროსილიკოალუმინის ღირებულება.

ყოფილი საბჭოთა კავშირის ფუნქციონირების პერიოდში რუსთავის მეტალურგიული კომბინატის არა რაციონალური მუშაობის შედეგად მის მიმდებარე ტერიტორიებზე დაგროვილია მილიონობით ტონა მეტალურგიული ნარჩენები. ამ მეტალურგიული ნარჩენების უმეტესობა შეიცავს 70%-მდე რკინას, უფრო მეტ რკინას ვიდრე ნებისმიერი რკინის მადანი. ჩვენს მიერ დამუშავებული ამ ნარჩენების პლაზმური გადამუშავების ხერხი საშუალებას იძლევა მივიღოთ ფოლადები, რომელთა ღირებულება იქნება არანაკლებ ორჯერ მცირე ვიდრე ნებისმიერი სხვა გზით მიღებული ფოლადების ღირებულება.

მაღალი ელექტროგამტარობის მქონე ნარჩენების პლაზმური გადამუშავების ხერხი მდგომარეობს შემდეგში (ნახ. 19).



ნახაზი 19. მაღალი ელექტროგამტარობის მქონე ნარჩენების პლაზმური გადამუშავების მეთოდის განხორციელების სქემა: 1- ღუმელი; 2- ელექტროგამტარული ნარჩენის ბრიკეტი. 3- ანოდი; 4- პლაზმური რკალი; 5- კვების წყარო; 6- გამდნარი სასარგებლო ნივთიერება; 7- შლაკი; 8 და 9 – ნაცმი; 10- გამოსაშვები ღარი.

ღუმელში 1 ელექტროგამტარი ნარჩენის ბრიკეტს 2 და ანოდ 3 შორის ანთია პლაზმური რკალი 4, რომელსაც დენი მიეწოდება კვების წყაროდან 5. ელექტროგამტარი ნარჩენის ბრიკეტი დნება და იშლება ორ ნაწილად: გამდნარი სასარგებლო ნივთიერების 6 და შლაკის 7 სახით. შლაკში გადასული მაღალი ტემპერატურის ელექტროგამტარული ნარჩენის ნაწილი იწვის ნაცმიდან 8 ჩაწოდებულ ჟანგბადში. წვის პროდუქტი პლაზმური ღუმელიდან გაედინება ნაცმიდან 9. წვის სითბო ემატება პლაზმურ რკალში გამოყოფილ სითბოს და მონაწილეობს მთლიანად ელექტროგამტარი ნარჩენის დნობაში. სასარგებლო ნივთიერების გამდნარი მასა ღუმელიდან გამოიყოფა გამოსაშვები ღარიდან 10. მთლიანად ღუმელში მოხმარებული ჯამური სითბოს რაოდენობა შედგება პლაზმური რკალიდან გამოყოფილ სითბოსა და წვის შედეგად მიღებული სითბოსგან. ღუმელში მყარდება წვის შედეგად მიღებული შედარებით დაბალი და პლაზმური რკალიდან მიღებული მაღალი ტემპერატურის გასაშუალებელი ტემპერატურა. ამით წვის შედეგად მიღებული სითბოს რაოდენობას ემატება პლაზმური რკალიდან მიღებული სითბოს ის რაოდენობა, რომელც საკმარისია ელექტროგამტარი ნარჩენის ბრიკეტის გასადნობად. ამგვარად იზოგება პლაზმურ რკალში მიწოდებული ელექტრული ენერჯია და მცირდება კვების წყაროს სიმძლავრე. ვინაიდან ელექტროგამტარი ნარჩენის ბრიკეტზე უშუალოდ ანთია პლაზმურ რკალი, მიღებული ტემპერატურა ყოველთვის საკმარისია ნებისმიერი მასალის ელექტროგამტარი ნარჩენის გასადნობად.

ამით უზრუნველყოფილია ნებისმიერი ელექტროგამტარი ნარჩენის გასადნობად საკმარისი ტემპერატურის მიღება და სპეციალური ელექტროდებისა და ელექტრული ენერჯიის ხარჯის შემცირება.

ამ ხერხით ნახშირის გამდიდრების ნარჩენებიდან მექანიკურად ნაკლებად მდგრადი ბრიკეტებიდან ფეროსილიკოალუმინის გამოდნობის პროცესი მდგომარეობს შემდეგში (ნახ. 19): ღუმელში 1 ნახშირის გამდიდრების ნარჩენის ბრიკეტს 2 და ანოდ 3 შორის ანთია პლაზმური რკალი 4, რომელსაც დენი მიეწოდება კვების წყაროდან 5. პლაზმური რკალის ზემოქმედებით ნახშირის გამდიდრების ნარჩენის ბრიკეტი დნება და იშლება ორ ნაწილად: გამდნარი ფეროსილიკოალუმინისა 6 და ნახშირის დიდი რაოდენობის შემცველი შლაკის 7 სახით. ნახშირის დიდი რაოდენობის შემცველი მაღალი ტემპერატურის შლაკის ნაწილი იწვის ნაცმიდან 8 ჩაწოდებულ ჟანგბადში. წვის პროდუქტი პლაზმური ღუმელიდან გაედინება ნაცმიდან 9. წვის სითბო ემატება პლაზმურ რკალში გამოყოფილ სითბოს და მონაწილეობს მთლიანად ნახშირის გამდიდრების ნარჩენის ბრიკეტის დნობაში. მიღებული ფეროსილიკოალუმინის გამდნარი მასა ღუმელიდან გამოიყოფა გამოსაშვები ღარიდან 10. მთლიანად ღუმელში მოხმარებული ჯამური სითბოს რაოდენობა შედგება პლაზმური რკალიდან გამოყოფილ სითბოსა და წვის შედეგად მიღებული სითბოსგან. ღუმელში მყარდება წვის შედეგად მიღებული შედარებით დაბალი და პლაზმური რკალიდან მიღებული მაღალი ტემპერატურის გასაშუალებელი ტემპერატურა. ამით წვის შედეგად მიღებული სითბოს რაოდენობას ემატება პლაზმური რკალიდან მიღებული სითბოს ის რაოდენობა, რომელც საკმარისია ნახშირის გამდიდრების ნარჩენის ბრიკეტის გასადნობად. ამგვარად იზოგება პლაზმურ რკალში მიწოდებული ელექტრული ენერჯია და მცირდება კვების წყაროს სიმძლავრე. ვინაიდან ნახშირის გამდიდრების ნარჩენის ბრიკეტზე უშუალოდ ანთია პლაზმური რკალი, მიღებული ტემპერატურა ყოველთვის საკმარისია ნებისმიერი შემადგენლობის ნახშირის გამდიდრების ნარჩენის გასადნობად.

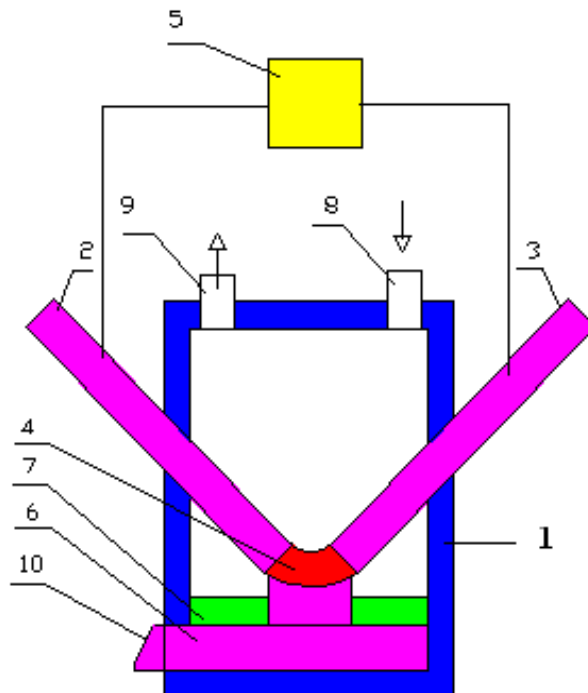
ფეროსილიკოალუმინის ასე გამოდნობისას კლებულობს მოხმარებული ელექტრული ენერჯიის რაოდენობა. შედეგად ამისა ნახშირის გამდიდრების ნარჩენებიდან გამოდნობილი ფეროსილიკოალუმინის ფასი არა ნაკლებ 2-ჯერ ნაკლებია სხვა წესით მიღებული ფეროსილიკოალუმინის ფასზე.

ამ ხერხით მეტალურგიული ნარჩენების მექანიკურად ნაკლებად მდგრადი ბრიკეტებიდან ფოლადის გამოდნობის პროცესი მდგომარეობს შემდეგში (ნახ. 20):

ღუმელში 1 მეტალურგიული ნარჩენის ბრიკეტს 2 და ანოდ 3 შორის ანთია პლაზმური რკალი 4, რომელსაც დენი მიეწოდება კვების წყაროდან 5. მეტალურგიული ნარჩენის ბრიკეტი დნება და იშლება ორ ნაწილად: გამდნარი ლითონისა 6 და შლაკის 7 სახით. შლაკში გადასული მაღალი ტემპერატურის მეტალურგიული ნარჩენის ნაწილი იწვის ნაცმიდან 8 ჩაწოდებულ ჟანგბადში. წვის პროდუქტი პლაზმური ღუმელიდან გაედინება ნაცმიდან 9. წვის სითბო ემატება პლაზმურ რკალში გამოყოფილ სითბოს და მონაწილეობს მთლიანად მეტალურგიული ნარჩენის დნობაში. გამდნარი ლითონის მასა ღუმელიდან გამოიყოფა გამოსაშვები ღარიდან 10. მთლიანად ღუმელში მოხმარებული ჯამური სითბოს რაოდენობა შედგება პლაზმური რკალიდან გამოყოფილ სითბოსა და წვის შედეგად მიღებული სითბოსგან. ღუმელში მყარდება წვის შედეგად მიღებული შედარებით დაბალი და პლაზმური რკალიდან მიღებული მაღალი ტემპერატურის გასაშუალებელი ტემპერატურა. ამით წვის შედეგად მიღებული სითბოს რაოდენობას ემატება პლაზმური რკალიდან მიღებული სითბოს ის რაოდენობა, რომელც საკმარისია მეტალურგიული ნარჩენის ბრიკეტის გასადნობად. ამგვარად იზოგება პლაზმურ რკალში მიწოდებული ელექტრული ენერგია და მცირდება კვების წყაროს სიმძლავრე. ვინაიდან მეტალურგიული ნარჩენის ბრიკეტზე უშუალოდ ანთია პლაზმურ რკალი, მიღებული ტემპერატურა ყოველთვის საკმარისი ნებისმიერი მასალის მეტალურგიული ნარჩენის გასადნობად.

ამის შედეგად მეტალურგიული ნარჩენებიდან გამოდნობილი ლითონის ფასი არა ნაკლებ 2-ჯერ კლებულობს.

ამ ხერხით ნახშირის გამდიდრების ნარჩენებიდან მექანიკურად საკმარისად მდგრადი ბრიკეტებიდან ფეროსილიკოალუმინის გამოდნობის პროცესი მდგომარეობს შემდეგში (ნახ. 20):



ნახაზი 20. საკმარისად მდგრადი ბრიკეტებიდან ფეროსილიკოალუმინის გამოდნობის განხორციელების სქემა: 1- ღუმელი; 2 და 3- ნახშირის გამდიდრების ნარჩენის ბრიკეტები; 4- პლაზმური რკალი; 5- კვების წყარო; 6- გამდნარი ფეროსილიკოალუმინი; 7- ნახშირის შემცველი შლაკი; 8 და 9- ნაცმი; 10- გამოსაშვები ღარი.

ღუმელში 1 ნახშირის გამდიდრების ნარჩენის ბრიკეტებს 2 და 3 შორის ანთია პლაზმური რკალი 4, რომელსაც დენი მიეწოდება კვების წყაროდან 5. ნახშირის გამდიდრების ნარჩენის ბრიკეტები დნებიან და იშლებიან ორ ნაწილად: გამდნარი ფეროსილიკოალუმინისა 6 და ნახშირის დიდი რაოდენობის შემცველი შლაკის 7 სახით. ნახშირის დიდი რაოდენობის შემცველი მაღალი ტემპერატურის შლაკის ნაწილი იწვის ნაცმიდან 8 ჩაწოდებულ ჟანგბადში. წვის პროდუქტი პლაზმური ღუმელიდან გაედინება ნაცმიდან 9. წვის სითბო ემატება პლაზმურ რკალში გამოყოფილ სითბოს და მონაწილეობს მთლიანად ნახშირის გამდიდრების ნარჩენის ბრიკეტის დნობაში. მიღებული ფეროსილიკოალუმინის გამდნარი მასა ღუმელიდან გამოიყოფა გამოსაშვები ღარიდან 10. მთლიანად ღუმელში მოხმარებული ჯამური

სითბოს რაოდენობა შედგება პლაზმური რკალიდან გამოყოფილ სითბოსა და წვის შედეგად მიღებული სითბოსგან. ღუმელში მყარდება წვის შედეგად მიღებული შედარებით დაბალი და პლაზმური რკალიდან მიღებული მაღალი ტემპერატურის გასაშუალებელი ტემპერატურა. ამით წვის შედეგად მიღებული სითბოს რაოდენობას ემატება პლაზმური რკალიდან მიღებული სითბოს ის რაოდენობა, რომელც საკმარისია ნახშირის გამდიდრების ნარჩენის ბრიკეტების გასადნობად. ამგვარად იზოგება პლაზმურ რკალში მიწოდებული ელექტრული ენერჯია და მცირდება კვების წყაროს სიმძლავრე. ვინაიდან ნახშირის გამდიდრების ნარჩენის ბრიკეტებზე უშუალოდ ანთია პლაზმური რკალი, მიღებული ტემპერატურა ყოველთვის საკმარისია ნებისმიერი შემადგენლობის ნახშირის გამდიდრების ნარჩენის გასადნობად.

ფეროსილიკოალუმინის ასე გამოდნობისას კლებულობს მოხმარებული ელექტრული ენერჯიის რაოდენობა. შედეგად ამისა ნახშირის გამდიდრების ნარჩენებიდან გამოდნობილი ფეროსილოკოალუმინის ფასი არა ნაკლებ 2-ჯერ ნაკლებია სხვა წესით მიღებული ფეროსილოკოალუმინის ფასზე.

ამ ხერხით მეტალურგიული ნარჩენების მექანიკურად საკმარისად მდგრადი ბრიკეტებიდან ფოლადის გამოდნობის პროცესი მდგომარეობს შემდეგში (ნახ. 20):

ღუმელში 1 მეტალურგიული ნარჩენის ბრიკეტებს 2 და 3 შორის ანთია პლაზმური რკალი 4, რომელსაც დენი მიეწოდება კვების წყაროდან 5. მეტალურგიული ნარჩენის ბრიკეტები დნებიან და იშლებიან ორ ნაწილად: გამდნარი ლითონისა 6 და შლაკის 7 სახით. შლაკში გადასული მაღალი ტემპერატურის მეტალურგიული ნარჩენის ნაწილი იწვის ნაცმიდან 8 ჩაწოდებულ ჟანგბადში. წვის პროდუქტი პლაზმური ღუმელიდან გაედინება ნაცმიდან 9. წვის სითბო ემატება პლაზმურ რკალში გამოყოფილ სითბოს და მონაწილეობს მთლიანად მეტალურგიული ნარჩენის დნობაში. გამდნარი ლითონის მასა ღუმელიდან გამოიყოფა გამოსაშვები ღარიდან 10. მთლიანად ღუმელში მოხმარებული ჯამური სითბოს რაოდენობა შედგება პლაზმური რკალიდან გამოყოფილ სითბოსა და წვის შედეგად მიღებული სითბოსგან. ღუმელში მყარდება წვის შედეგად

მიღებული შედარებით დაბალი და პლაზმური რკალიდან მიღებული მაღალი ტემპერატურის გასაშუალებელი ტემპერატურა. ამით წვის შედეგად მიღებული სითბოს რაოდენობას ემატება პლაზმური რკალიდან მიღებული სითბოს ის რაოდენობა, რომელიც საკმარისია მეტალურგიული ნარჩენის ბრიკეტების გასადნობად. ამგვარად იზოგება პლაზმურ რკალში მიწოდებული ელექტრული ენერჯია და მცირდება კვების წყაროს სიმძლავრე. ვინაიდან მეტალურგიული ნარჩენის ბრიკეტებზე უშუალოდ ანთია პლაზმურ რკალი, მიღებული ტემპერატურა ყოველთვის საკმარისია ნებისმიერი მასალის მეტალურგიული ნარჩენის გასადნობად.

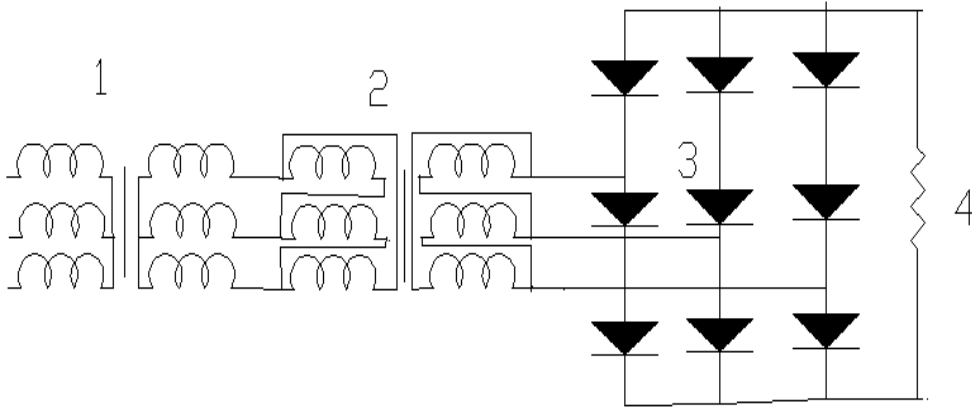
შედეგად ამისა მეტალურგიული ნარჩენებიდან გამოდნობილი ფოლადის ფასი კლებულობს არა ნაკლებ 2-ჯერ.

§3.7. პლაზმური დანადგარებისათვის მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყაროს შექმნა და მისი მოქმედების თეორიული საფუძვლების დამუშავება.

დისერტაციის ამ პარაგრაფში აღწრილია პლაზმური რკალის კვების წყაროს მართკუთხა მახასიათებლის მიღების პრინციპი და ჩატარებულია მისი მუშაობის პროცესის ანალიზი კლასიკური მეთოდით; ნაჩვენებია, რომ პლაზმური რკალის სტაბილურობას ყველაზე კარგად უზრუნველყოფს ასეთი ტიპის კვების წყარო. მასში განსაზღვრულია სამფაზა გამმართველის ძირითადი საპროექტო პარამეტრები ასეთი შემთხვევისათვის, კერძოდ, უკუდაბვები დიოდებზე, დიოდების დენები, ძალური ტრანსფორმატორის პირველადი და მეორადი გრაგნილების ხაზური და ფაზური დენები და ძალური ტრანსფორმატორის პირველადი და მეორადი გრაგნილების ხაზური და ფაზური ძაბვები.

ზოგადად პლაზმური დანადგარის კვების წყაროს უნდა შეეძლოს მუშაობა სამივე რეჟიმში. კვების წყარო უნდა იყოს დენის წყარო მუშა და მოკლედ ჩართვის რეჟიმში და ძაბვის წყარო უქმი სვლის რეჟიმში. მაშასადამე პლაზმური დანადგარის კვების წყაროს იდეალურ შემთხვევაში უნდა ქონდეს მართკუთხა მახასიათებლი. ქვემოთ აღწრილია პლაზმური რკალის კვების წყაროს მართკუთხა მახასიათებლის მიღების პრინციპი

(ნახ. 21) და ჩატარებულია მისი მუშაობის პროცესის ანალიზი კლასიკური მეთოდით.

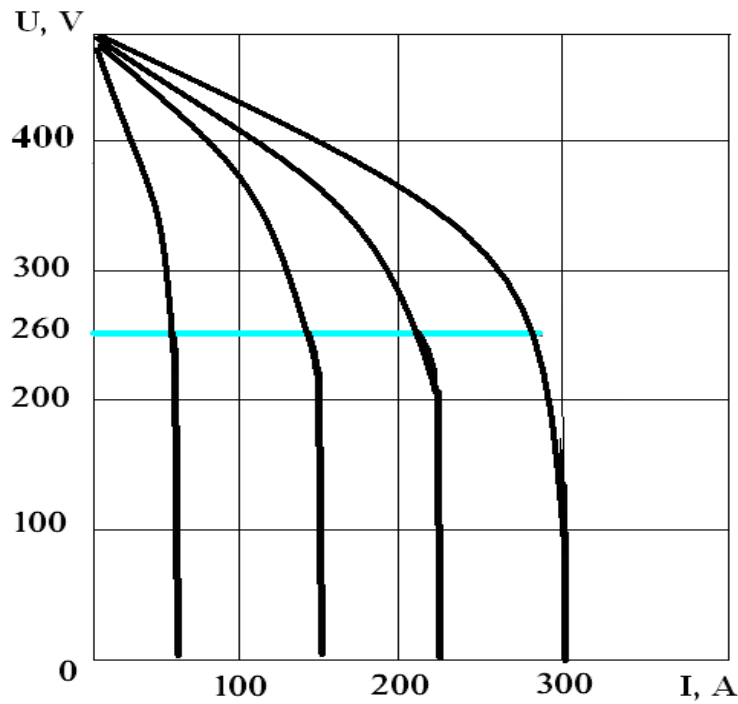


ნახაზი 21. მართკუთხა მახასიათებლის მქონე პლაზმური დანადგარის კვების წყაროს სქემა. 1- ხისტი მახასიათებლის მქონე ტრანსფორმატორი; 2- დამრეცი მახასიათებლის მქონე ტრანსფორმატორი; 3- გამმართველი; 4- დენის მომხმარებელი (პლაზმატრონი).

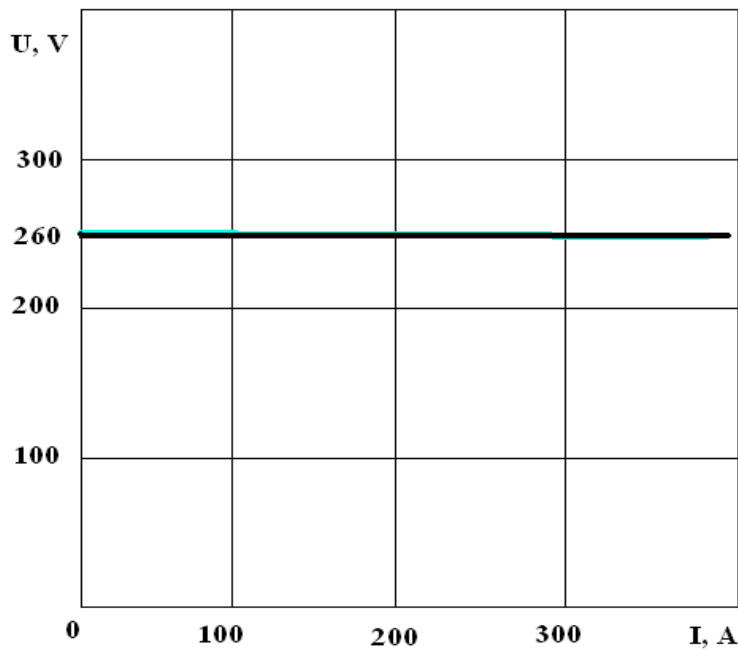
მართკუთხა მახასიათებლის მქონე პლაზმური დანადგარის კვების წყარო შეიცავს ხისტი მახასიათებლის მქონე ტრანსფორმატორს მცირე ფანტვის ნაკადით 1; დამრეცი მახასიათებლის მქონე ტრანსფორმატორს დიდი ფანტვის ნაკადით 2 და გამმართველს 3, რომელიც მიერთებულია დენის მომხმარებელთან (ჩვენს შემთხვევაში პლაზმატრონთან) 4.

დამრეცი მახასიათებლის მქონე ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილები მიერთებულია მკვებავ ქსელთან ხოლო მეორადი გრაგნილები მიერთებულია ხისტი მახასიათებლის მქონე ტრანსფორმატორის პირველად გრაგნილებთან მიმდევრობით.

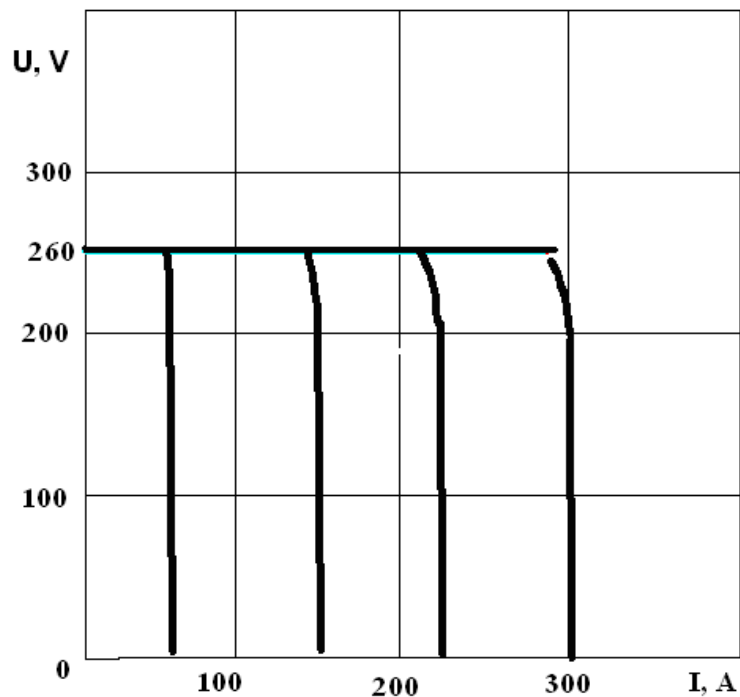
დამრეცი მახასიათებლის მქონე ტრანსფორმატორის მახასიათებლები მოცემილია ნახ. 22-ზე; ხისტი მახასიათებლის მქონე ტრანსფორმატორის მახასიათებელი მოცემილია ნახაზ. 23-ზე და მართკუთხა მახასიათებლის მქონე პლაზმური დანადგარის კვების წყაროს მახასიათებლები მთლიანად მოცემილია ნახაზ. 24-ზე.



ნახაზი 22. დამრეცი მახასიათებლის მქონე ტრანსფორმატორის მახასიათებლები.



ნახაზი 23. ხისტი მახასიათებლის მქონე ტრანსფორმატორის მახასიათებელი



ნახაზი 24. მართკუთხა მახასიათებლის მქონე პლაზმური დანადგარის კვების წყაროს მახასიათებლები.

მართკუთხა მახასიათებლის მქონე პლაზმური დანადგარის კვების წყაროს მოქმედების პრინციპი მდგომარეობს შემდეგში: დამრეცი მახასიათებლის მქონე ტრანსფორმატორის პირველადი და მეორადი გრაგნილების დაცილების მანძილის რეგულირებით ფორმირდება დამრეცი მახასიათებლები (ნახ. 22). მაგრამ, რადგანაც მასთან მიმდევრულად მიერთებულია ხისტი მახასიათებლის მქონე ტრანსფორმატორი, დაბვა მასზე არ შეიძლება იყოს ხისტი მახასიათებლის მქონე ტრანსფორმატორის დაბვაზე მეტი და უქმი სვლის დაბვა განისაზღვრება ამ ტრანსფორმატორით. ამრიგად ფორმირდება პლაზმური დანადგარის კვების წყაროს მართკუთხა მახასიათებლი (ნახ. 24).

ქვემოთ აღწერილია ჩვენს მიერ დამუშავებული მართკუთხა მახასიათებლის მქონე პლაზმური დანადგარის კვების წყაროს სამრეწველო ნიმუში, რომელიც გამოყენებულ იქნა ISTC-ს მიერ დაფინანსებული G-1255 პროექტის შესრულებისას (2007-2009 წლები).

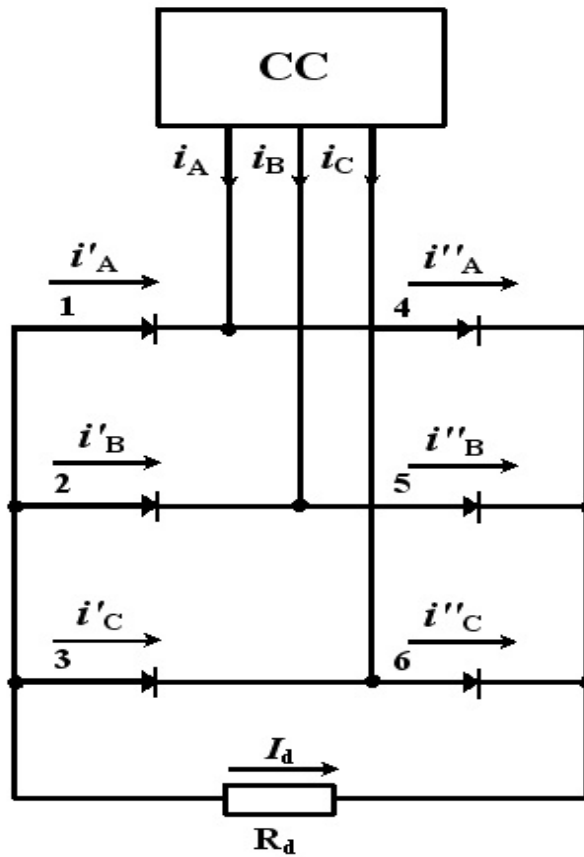
დამრეცი მახასიათებლის მქონე ტრანსფორმატორი დაპროექტებულია 400ვ უქმი სვლის დაბეზზე, 30-260ვ მუშა რეჟიმის დაბეზზე და 50- 300ა დენის ძალებზე. ხისტი მახასიათებლის მქონე ტრანსფორმატორი დაპროექტებულია 260ვ უქმი სვლის დაბეზზე, 260ვ მუშა რეჟიმის დაბეზზე და 50-300ა მუშა რეჟიმის დენის ძალებზე. შესაბამისად დამუშავებული მართკუთხა მახასიათებლის მქონე პლაზმური დანადგარის კვების წყაროს სამრეწველო ნიმუშის ტექნიკური მონაცემებია: უქმი სვლის დაბეზი 260ვ; მუშა რეჟიმის დაბეზი 30-260ვ; მუშა რეჟიმის დენის ძალები 50-300ა და მოკლედ შერთვის დენის ძალები 55-310ა.

ელექტრომაგნიტური პროცესები ასეთი ტიპის კვების წყაროში ძირეულად განსხვავდება იმ ელექტრომაგნიტური პროცესებისაგან, რომელიც მიმდინარეობს დაბეზის წყაროში, რომელიც კარგად არის შესწავლილი.

ქვემოთ მოყვანილია პლაზმური დანადგარის ელექტრომაგნიტური პროცესების ანალიზი კლასიკური მეთოდით, როდესაც პლაზმური რკალი იკვებება მართკუთხა მახასიათებლის მქონე დენის წყაროდან, რომელიც შეიცავს ბოვირული სქემის სამფაზა გამმართველს (ნახაზი 25).

ანალიზის გამარტივების მიზნით შემოღებულია შემდეგი დაშვებები:

- კვების წყარო არის იდეალური დენის წყარო;
- დიოდები იდეალურია: დენის გატარების მიმართულებით დიოდს წინააღმდეგობა ნულის ტოლია, ხოლო საწინააღმდეგო მიმართულებით კი უსასრულოდ დიდი;
- ელექტრული წინააღმდეგობა მხოლოდ აქტიურია და წრფივი.



ნახაზი 25. მარტყუთხა მახასიათებლის მქონე დენის წყაროზე მიერთებული სამფაზა გამმართველის ჩანაცვლების სქემა: CC- დენის წყარო; i_A , i_B და i_C -დენის წყაროს ფაზური დენებია; i'_A , i'_B და i'_C - არის დენები 1, 2 და 3 ვენტილებში; i''_A , i''_B და i''_C - არის დენები 4, 5 და 6 ვენტილებში.

ანალიზის დროს მოცემულად ითვლება დატვირთვის დენი და ძაბვა და მკვებავი წრედის ძაბვები, ხოლო საძიებელია ვენტილების დენები, ვენტილების უკუ ძაბვები და ძალური ტრანსფორმატორის გრაგნილების ფაზური და ხაზური დენები და ძაბვები. დენის წყაროზე გამმართველის მუშაობის პრინციპი განსხვავდება ძაბვის წყაროზე გამმართველის მუშაობის პრინციპისაგან, რაც ჩანს ქვემოთ მოცემული ანალიზიდან. რადგან გამმართველი იკვებება დენის წყაროდან, ფაზური ძაბვებისა და დენების მყისიერი მნიშვნელობები (J_A , J_B , J_C , i_A , i_B , i_C) არ არის დამოკიდებული დატვირთვაზე

$$\left. \begin{aligned} i_A &= J_{Am} \sin \alpha ; \\ i_B &= J_{Bm} \sin\left(\alpha - \frac{2}{3}\pi\right); \\ i_C &= J_{Cm} \sin\left(\alpha - \frac{2}{3}\pi\right), \end{aligned} \right\} \quad (2.61)$$

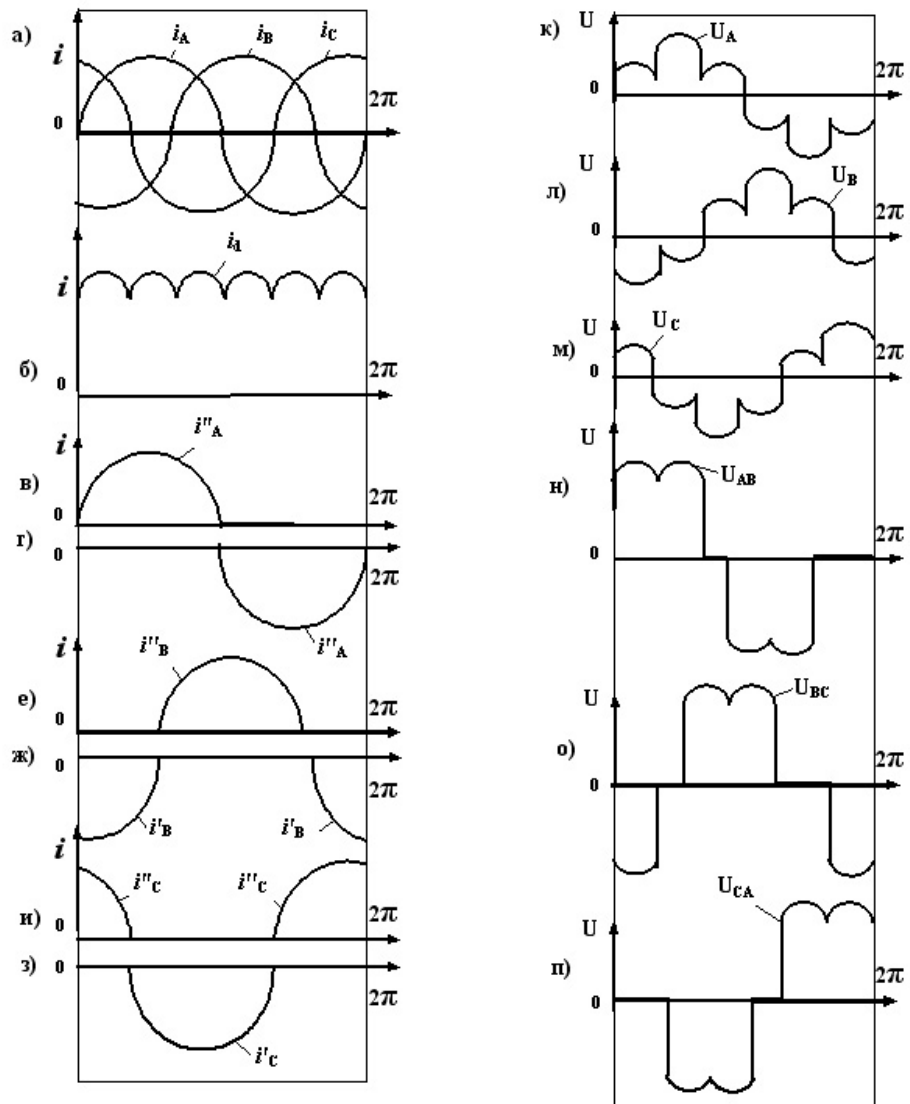
სადაც $J_{Am}=J_{Bm}=J_{Cm}=J_{\Phi m}$ არის ფაზური დენები. მაგალითად A ფაზისათვის გვექნება

$$J_{\Phi m} = \sqrt{2} J_A. \quad (2.62)$$

ფაზური დენების მრუდები ნახვენებია მე-26 ნახაზზე. ამ მრუდების ძირითადი განსხვავება ძაბვის წყაროს მრუდებისაგან მდგომარეობს იმაში, რომ დენის წყაროდან კვების შემთხვევაში ფაზურ დენებს არ შეიძლება ქონდეს წვეტები და ნახტომები. ამის ფიზიკური არსი მდგომარეობს იმაში, რომ დატვირთვის ნებისმიერ ცვალებადობას თან სდევს დატვირთვის ძაბვის შესაბამისი ცვალებადობა და შენარჩუნდება დენის თავდაპირველი სინუსოიდალური ფორმა.

სქმის (ნახაზი 25) ვენტილების დენების შესაბამისი მრუდების ფორმა მოცემულია მე-26 ნახაზზე (ნახ. 6, B, Г, e, Ж, 3, И).

დროის OO_1 მონაკვეთზე ვენტილების კათოდური ჯგუფიდან დენს ატარებენ მე-4 და მე-6 ვენტილები, ხოლო ანოდური ჯგუფიდან-ვენტილი 2; დროის O_1O_2 მონაკვეთზე ვენტილების კათოდური ჯგუფიდან დენს ატარებს მე-4 ვენტილი, ხოლო ანოდური ჯგუფიდან-ვენტილები 2 და 3; დროის O_2O_3 მონაკვეთზე ვენტილების კათოდური ჯგუფიდან დენს ატარებენ მე-4 და მე-5 ვენტილები, ხოლო ანოდური ჯგუფიდან-ვენტილი 2 და ასე შემდეგ. მაშასადამე დროის ნებისმიერ მომენტში დენს ატარებს სამი ვენტილი: ორი ვენტილი ერთი ჯგუფიდან და ერთი ვენტილი მეორე ჯგუფიდან. ნებისმიერ ვენტილში დენის გატარების დრო შედგენს პერიოდის ნახევარს - $\frac{T}{2}$.



ნახაზი 26. მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყაროს დენებისა და ძაბვების მრუდები მუშა რეჟიმებში.

გამმართველის გამართული დენის მყისიერი მნიშვნელობები დროის ნებისმიერ მომენტში განისაზღვრება შემდეგნაირად:

OO_1 დროის მონაკვეთში

$$i_d(OO_1) = i_A + i_C = -i_B \quad (2.63)$$

O_1O_2 დროის მონაკვეთში

$$i_d(O_1O_2) = i_A = -(i_B + i_C) \quad (2.64)$$

O_2O_3 დროის მონაკვეთში

$$i_d(O_2O_3) = i_A + i_B = -i_C \quad (2.65)$$

(OO_1 , O_1O_2 , O_2O_3 არის დროის მონაკვეთები კუთხურ განზომილებებში და სიდიდით უდრის 30°). დროის სიდიდეები დროის სხვა მონაკვეთებში ჩაიწერება ანალოგიურად.

გამომდინარეე აქედან შეიძლება დავასკვნათ, რომ გამართული დენის ამპლიტუდური მნიშვნელობა უდრის ფაზური დენის ამპლიტუდურ მნიშვნელობას

$$J_{dm} = \sqrt{2} J_A = J_{\Phi m} , \quad (2.66)$$

სადაც J_A არის ფაზური დენის ეფექტური მნიშვნელობა. ვინაიდან დატვირთვა აქტიურია, გამართული ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობა იქნება

$$U_{dm} = \sqrt{2} J_A R . \quad (2.67)$$

მე-6 ნახაზზე მოცემულია გამართული დენის მრუდი რომლის პულსაციის სიხშირეა $f = 300$ Hz.

ამ მრუდის ფურიეს მწკრივებად დაშლა გვაძლევს

$$i_d = \frac{3}{\pi} i_{dm} \left(1 - \frac{2 \cos 6 \omega t}{7.5} - \frac{2 \cos 12 \omega t}{13.11} \dots \right) . \quad (2.68)$$

გამართული დენის ცვალებადობის პერიოდი შეადგენს $\frac{T}{6}$, ამიტომ მისი საშუალო მნიშვნელობა იქნება

$$J_{dcp} = \frac{3}{\pi} \int_0^{\pi/3} i_d d\omega t = \frac{3}{\pi} J_{dm} \int_0^{\pi/3} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{3} \right) d\omega t = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} J_A = 1,35 J_A . \quad (2.69)$$

გამომდინარეე აქედან გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა იქნება

$$U_{dcp} = J_{dcp} R = 1,35 R J_A \quad (2.70)$$

გამართული დენის ეფექტური მნიშვნელობა იქნება

$$J_d = \frac{3}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{3}} i_d^2 d \omega t = 1,355 J_A . \quad (2.71)$$

აქედან ფაზური დენის ეფექტური მნიშვნელობა იქნება

$$J_A = 0,747 J_d . \quad (2.72)$$

ვინაიდან ერთი ფაზის ვენტილები ნახევარი პერიოდის განმავლობაში დენს ატარებენ მონაცვლეობით, ღია ვენტილზე ძაბვა ნულის ტოლია, ხოლო ჩაკეტილ ვენტილზე, როგორც ჩანს მე-6 ნახაზიდან, მოდებულია გამართული ძაბვა. ამიტომ (7)-ის თანახმად

$$U_{Bm} = U_{dm} = \sqrt{2} R J_A . \quad (2.73)$$

ფაზური დენების მრუდების ფორმა მოცემულია მე-6 ნახაზზე (ნახ. 6, კ, დ, ე მ). რადგან გამმართველი იკვებება დენის წყაროდან და ფაზური დენების წყვეტები შეუძლებელია, დროის O_1 მონაკვეთში A და C ფაზების პოტენციალები ერთმანეთის ტოლია და აქვთ საწინააღმდეგო ნიშანი, თუმცა მათში გადის სხვადასხვა დენი და B ფაზის პოტენციალი უდრის A და C ფაზების პოტენციალთა ჯამს.

ვინაიდან O_1 მომენტში, C ფაზის დენი გადის ნულზე, ამ მომენტში ძაბვა ნახტომისებურად იცვლის ნიშანს. დროის O_1O_2 მონაკვეთში B და C ფაზების პოტენციალთა ჯამი უდრის A ფაზის პოტენციალს, აღებულს საწინააღმდეგო ნიშნით. O_2 მომენტში B ფაზის დენი გადის ნულზე და ნახტომისებურად იცვლის ნიშანს B ფაზის პოტენციალი

დროის O_2O_3 მონაკვეთში A და B ფაზების პოტენციალთა ჯამი უდრის A ფაზის პოტენციალს, აღებულს საწინააღმდეგო ნიშნით. O_2 მომენტში B ფაზის დენი გადის ნულზე და ნახტომისებურად იცვლის ნიშანს B ფაზის პოტენციალი

დროის O_2O_3 მონაკვეთში A და B ფაზების პოტენციალთა ჯამი უდრის C ფაზის პოტენციალს, აღებულს საწინააღმდეგო ნიშნით. O_3 მომენტში A

ფაზის დენი გადის ნულზე და ნახტომისებურად იცვლის ნიშანს და ასე შემდეგ.

მოყვანილი მსჯელობის თანახმად ფაზური ძაბვის მრუდი წარმოადგენს ნაჭერ ნაჭერ წყვეტილ ფუნქციას პირველი რიგის წყვეტებით. მაგალითად A ფაზისათვის გვექნება

$$U_{\Phi} = \begin{cases} \frac{1}{2}U_{\Phi m} \sin\left(\frac{\pi}{3} + \omega t\right), & \text{როცა } 0 < \omega t < \frac{\pi}{3}; \\ U_{\Phi m} \sin \omega t, & \text{როცა } \frac{\pi}{3} < \omega t < \frac{2}{3}\pi; \\ \frac{1}{2}U_{\Phi m} \sin\left(\frac{5}{3}\pi + \omega t\right), & \text{როცა } \frac{2}{3}\pi < \omega t < \pi; \\ \frac{1}{2}U_{\Phi m} \sin\left(\frac{\pi}{3} + \omega t\right), & \text{როცა } \pi < \omega t < \frac{4}{3}\pi; \\ U_{\Phi m} \sin \omega t, & \text{როცა } \frac{4}{3}\pi < \omega t < \frac{5}{3}\pi; \\ \frac{1}{2}U_{\Phi m} \sin\left(\frac{5}{3}\pi + \omega t\right), & \text{როცა } \frac{5}{3}\pi < \omega t < 2\pi, \end{cases} \quad (2.74)$$

სადაც $U_{\Phi m}$ არის A ფაზის ამპლიტუდური მნიშვნელობა.

ეს ფუნქცია სიმეტრიულია ორდინატებისა და კოორდინატთა სათავის მიმართ და ამიტომ შეიცავს მხოლოდ კენტ ჰარმონიკებს და ფურიეს მწკრივებად დაშლა მოსახერხებელია პერიოდის 1/4 მონაკვეთში. შესაბამისად ფურიეს კოეფიციენტები მოიძებნება გამოსახულებით

$$b_{2g+1} = \frac{4}{\pi} \left[\int_0^{\pi/5} \frac{1}{2} U_{\Phi m} \sin\left(\frac{\pi}{3} + \omega t\right) \sin(2g+1)\omega t d\omega t + \int_0^{\pi/2} \frac{1}{2} U_{\Phi m} \sin \omega t \sin(2g+1)\omega t d\omega t \right], \quad \text{zde } g = 0, 1, 2, \dots \quad (2.75)$$

როცა $g=0$ მე-(15) გამოსახულების ინტეგრირება გვაძლევს

$$b_1 = \frac{3\sqrt{3} + 2\pi}{4\pi} U_{\Phi m}. \quad (2.76)$$

როცა $g \geq 1$, მე-(15) გამოსახულების ინტეგრირება გვაძლევს

$$b_{2g+1} = \frac{U_{\Phi m}}{\pi} \frac{3 \sin \frac{\pi}{3}(2g+1) - \sqrt{3}(2g+1) \cos \frac{\pi}{3}(2g+1) - \sqrt{3}(2g+1)}{1 - (2g+1)^2} \quad (2.77)$$

თუ (2, 76) და (2. 77) ჩავსვამთ ფურიეს მწკრივში, მივიღებთ

$$U_{\Phi} = \frac{3\sqrt{3} + 2\pi}{4\pi} U_{\Phi m} \sin \omega t + \frac{U_{\Phi m}}{\pi} \sum_{g=2}^{\infty} \frac{3 \sin \frac{\pi}{3}(2g+1) - \sqrt{3}(2g+1) \cos \frac{\pi}{3}(2g+1) - \sqrt{3}(2g+1)}{1 - (2g+1)^2} \times \sin(2g+1)\omega t, \quad (2.78)$$

მაშასადამე ძაბვის მრუდის დანაშაღში არ არის 2 და 3 რიცხვების ჯერადი სიხშირის ჰარმონიკები.

დროის ნებისმიერ მომენტში ფაზური და ხაზური ძაბვებისათვის სამართლიანია გამოსახულებები

$$\begin{aligned} U_{AB} &= U_A - U_B; \\ U_{BC} &= U_B - U_C; \\ U_{CA} &= U_C - U_A. \end{aligned} \quad (2.79)$$

ამიტომ შესაძლებელია ფაზური ძაბვის მრუდეების მიხედვით ხაზური ძაბვის მრუდეების აგება.

ზოგადად ხაზური ძაბვის ანალიზური გამოსახულება იქნება

$$U_{\Lambda} = \begin{cases} 0, & \text{როცა } 0 < \omega t < \frac{\pi}{6}; \\ U_{\Lambda} \sin\left(\frac{\pi}{6} + \omega t\right), & \text{როცა } \frac{\pi}{6} < \omega t < \frac{\pi}{2}; \\ U_{\Lambda m} \sin\left(\frac{\pi}{6} + \omega t\right), & \text{როცა } \frac{\pi}{2} < \omega t < \frac{5}{6}\pi, \\ 0, & \text{როცა } \frac{5}{6}\pi < \omega t < \frac{7}{6}\pi, \\ U_{\Lambda m} \sin\left(\frac{\pi}{6} + \omega t\right), & \text{როცა } \frac{7}{6}\pi < \omega t < \frac{3}{2}\pi, \\ U_{\Lambda m} \sin\left(-\frac{\pi}{6} + \omega t\right), & \text{როცა } \frac{3}{2}\pi < \omega t < \frac{11}{6}\pi, \\ 0, & \text{როცა } \frac{11}{6}\pi < \omega t < 2\pi, \end{cases} \quad (2.80)$$

სადაც $U_{\Lambda m}$ არის ხაზური ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობა

ეს ფუნქცია აგრეთვე სიმეტრიულია ორდინატებისა და კოორდინატთა სათავის მიმართ და ამიტომ ხაზური ძაბვის მრუდების ფურიეს კოეფიციენტები მოიძებნება გამოსახულები

$$b_{2g+1} = \frac{4U_{\Lambda m}}{\pi} \left[\int_0^{\pi/6} \sin(2g+1)\omega t d\omega t + \int_0^{\pi/2} \sin\left(\frac{\pi}{6} + \omega t\right) \sin(2g+1)\omega t d\omega t \right], \quad (2.81)$$

სადაც $g = 0, 1, 2, 3 \dots$

რადგან ინტერვალში

$$\int_0^{\pi/6} U_{\Lambda m} \sin(2g+1)\omega t d\omega t = 0, \quad (2.82)$$

ფურიეს მწკრივის კოეფიციენტები მოიძებნება გამოსახულებით

$$b_{2g+1} = \frac{4}{\pi} U_{\Lambda m} \int_{\pi/6}^{\pi/2} \sin\left(\frac{\pi}{6} + \omega t\right) \sin(2g+1)\omega t d\omega t, \quad (2.83)$$

სადაც $g = 0, 1, 2, 3 \dots$

როცა $g = 0$,

$$b_0 = \frac{2\sqrt{3}\pi + 9}{6\pi} U_{\Lambda m}, \quad (2.84)$$

როცა $g > 0$,

$$b_{2g+1} = \frac{2U_{\Lambda m}}{\pi} \cdot \frac{\sin\frac{\pi}{6}(2g+1) + \sin\frac{\pi}{2}(2g+1) - \sqrt{3}(2g+1)\cos\frac{\pi}{6}(2g+1)}{1-(2g+1)^2}. \quad (2.85)$$

(2.84) და (2.85) ჩასმით ფურიეს ტრიგონომეტრიულ მწკრივში მივიღებთ ხაზური ძაბვის ჰარმონიულ მწკრივს

$$U_{\Lambda} = \frac{2\sqrt{3}\pi + g}{6\pi} U_{\Lambda m} \sin\omega t + \frac{2U_{\Lambda m}}{\pi} \sum_{g=1}^{\infty} \frac{\sin\frac{\pi}{6}(2g+1) + \sin\frac{\pi}{2}(2g+1) - \sqrt{3}(2g+1)\cos\frac{\pi}{6}(2g+1)}{1-(2g+1)^2} \times \sin(2g+1)\omega t. \quad (2.86)$$

მაშასადამე ამით განსაზღვრულია მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყაროს:

- ვენტილების უკუძაბვები და დენები;
- ძალური ტრანსფორმატორის პირველადი და მეორადი გრგნილების ფაზური და ხაზური ძაბვები;
- ძალური ტრანსფორმატორის პირველადი და მეორადი გრგნილების ფაზური და ხაზური დენები;

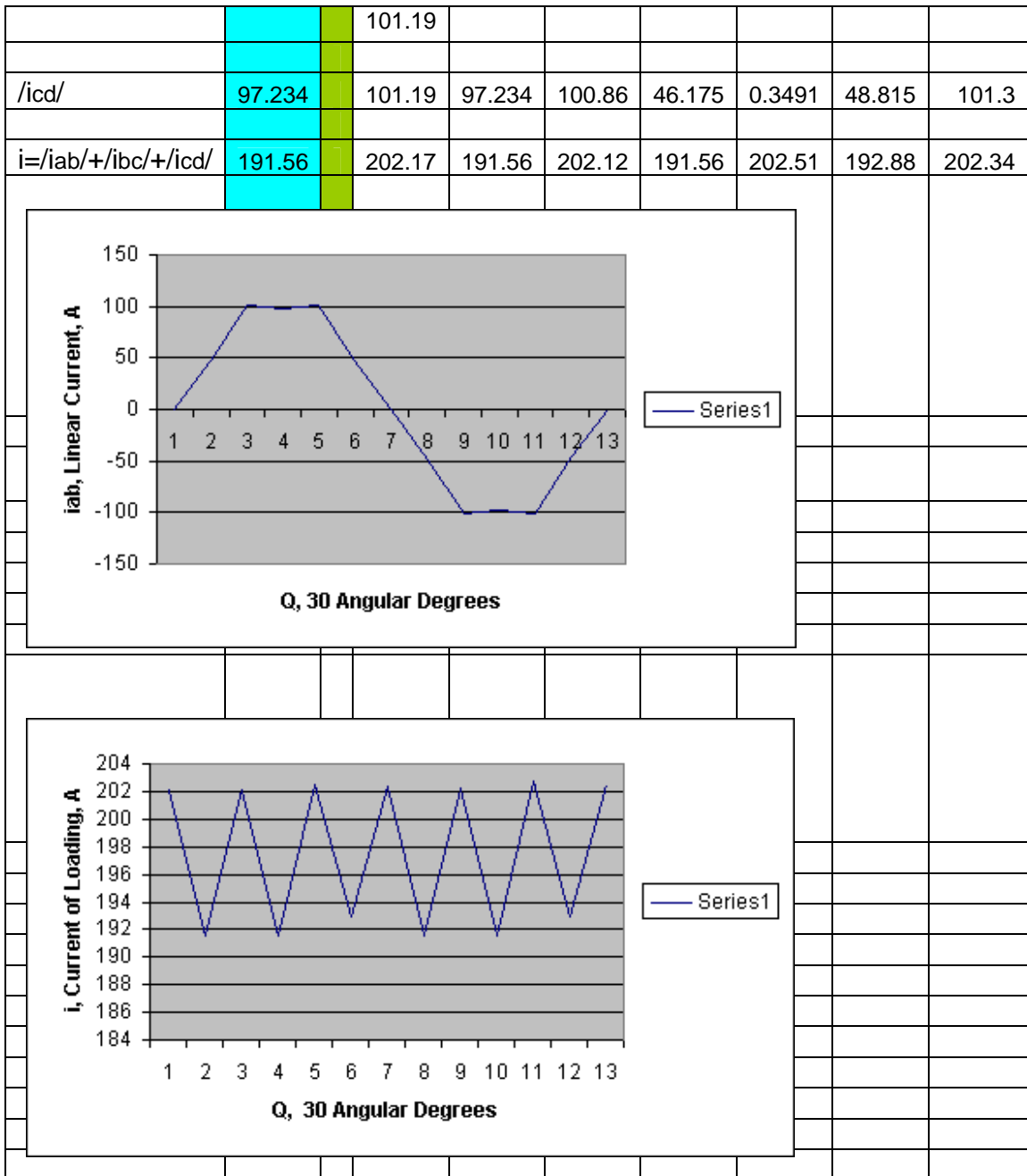
ამ ფორმულებით ჩატარებული გაანგარიშებები გვიჩვენებს, რომ გამართული ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობა უდრის ხაზური ძაბვის ამპლიტუდურ მნიშვნელობას, ხოლო ფაზური ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობა 1,5 ჯერ ნაკლებია ხაზური ძაბვის ამპლიტუდურ მნიშვნელობაზე.

§3.7.1. სისტემის: “მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყარო-პლავმატრონის” დამყარებული რეჟიმების ელექტრომაგნიტური პროცესების საკვლევი ალგორითმებისა და პროგრამების დამუშავება

ქვემოთ მოყვანილია ალგორითმები და პროგრამების ფრაგმენტი და ამ პროგრამებით აგებული გრაფიკები, რომელებიც განკუთვნილია სისტემის:

“მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყარო-პლაზმატრონის”
 დამყარებული რეჟიმების ელექტრომაგნიტური პროცესების გამსაკვლევად
 (ნახაზი 27)

$U_{\Lambda} = \frac{2\sqrt{3}\pi + g}{6\pi} U_{\Lambda m} \sin \omega t +$ $+ \frac{2U_{\Lambda m}}{\pi} \sum_{g=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{\pi}{6}(2g+1) + \sin \frac{\pi}{2}(2g+1) - \sqrt{3}(2g+1)\cos \frac{\pi}{6}(2g+1)}{1-(2g+1)^2} \times$ $\times \sin(2g+1)\omega t$								
X=XI=Xc=2.5	5	5	5	5	5	5	5	5
g={1...7}								
UIm=537	537.4	537.4	537.4	537.4	537.4	537.4	537.4	537.4
Q	30	0	30	60	90	120	150	180
120+Q	150	120	150	180	210	240	270	300
240+Q	270	240	270	300	330	360	390	420
Uab	237.5	0	237.5	505.4	486.2	504.9	234.2	-0.87
Ubc	234.2	504.9	234.2	-0.87	-241	-506	-486	-504
Ucd	-486	-506	-486	-504	-231	1.746	244.1	506.5
iab	47.495	0	47.495	101.08	97.234	100.97	46.835	-0.175
/iab/	47.495	0	47.495	101.08	97.234	100.97	46.835	0.1746
ibc	46.835	100.97	46.835	-0.175	-48.15	-101.2	-97.23	-100.9
/ibc/	46.835	100.97	46.835	0.1746	48.155	101.19	97.234	100.86
icd	-97.23	-	-97.23	-100.9	-46.18	0.3491	48.815	101.3



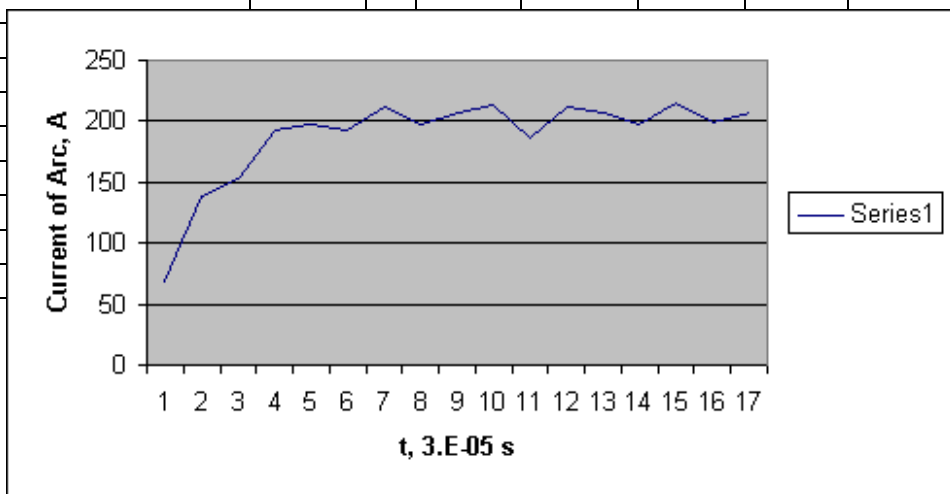
ნახაზი 27 სისტემის: “მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყარო-პლაზმატრონის” დამყარებული რეჟიმების ელექტრომაგნიტური პროცესების საკვლევო პროგრამების ფრაგმენტი და ამ პროგრამებით აგებული გრაფიკები.

§3.7.2. სისტემის: “მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყარო-პლანმატრონის” გარდამავალი რეჟიმების ელექტრომაგნიტური პროცესების საკვლევი ალგორითმებისა და პროგრამების დამუშავება

ქვემოთ მოყვანილია ალგორითმები და პროგრამების ფრაგმენტი და ამ პროგრამებით აგებული გრაფიკები, რომელებიც განკუთვნილია სისტემის: “მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყარო-პლანმატრონის” გარდამავალი რეჟიმების ელექტრომაგნიტური პროცესების გამსაკვლევად (ნახაზი 28)

$i_A = \frac{(R_{\min} - R_{\max}) U_{\Lambda m}}{R_{\max} x_c e^{\frac{x_c \Theta}{2 R_{\max}}}} * \sin(\Theta + \psi + \frac{5}{6} \pi) + \frac{U_{\Lambda m}}{x_c} \sin(\Theta + \psi + \frac{5}{6} \pi)$								
n	1	0	1	2	3	4	5	6
y	0.785	0.785	0.785	0.785	0.79	0.79	0.785	0.785
Q	0.3925	0	0.393	0.785	1.18	1.57	1.963	2.355
I _n = 200 A	200	200	200	200	200	200	200	200
U _{min} = 75 V	75	75	75	75	75	75	75	75
U _{max} = 300 V	300	300	300	300	300	300	300	300
R _n	1	1	1	1	1	1	1	1
R _{min}	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

R_{max}	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
$X_L = X_C = X$	5	5	5	5	5	5	5	5
U_{Lm}	536	536	536	536	536	536	536	536
a	1.9243	1	1.924	3.703	7.13	13.7	26.39	50.78
$SIN(Q+y+5*3.14/6)$	-0.6072	-0.257	-0.607	-0.86	-0.99	-0.97	-0.8	-0.503
$SIN(Q+y+20.9+5*3.14/6)$	-0.3885	-0.711	-0.389	-0.01	0.38	0.7	0.921	1
$SIN(Q+y+4,19+5*3.14/6)$	0.9915	0.966	0.992	0.866	0.61	0.26	-0.13	-0.499
i_A	-42.544	-9.189	-42.54	-76	-96.3	-98.6	-83.1	-53.16
$ i_A $	42.544	9.189	42.54	76.03	96.3	98.6	83.07	53.16
i_B	-27.22	-25.42	-27.22	-0.57	36.6	71.6	96.25	105.8
$ i_B $	27.22	25.42	27.22	0.573	36.6	71.6	96.25	105.8
i_C	69.469	34.51	69.47	76.16	59.2	26.5	-13.5	-52.74
$ i_C $	69.469	34.51	69.47	76.16	59.2	26.5	13.48	52.74
$i = i_A + i_B + i_C $	139.23	69.12	139.2	152.8	192	197	192.8	211.7



ნახაზი 28. სისტემის: “მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყარო-პლაზმატრონის” დამყარებული რეჟიმების ელექტრომაგნიტური პროცესების საკვლევი პროგრამების ფრაგმენტი და ამ პროგრამებით აგებული გრაფიკები.

§3.7.3. სისტემის: “მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყარო-პლაზმატრონის” კომპიუტერული კვლევის შედეგები.

წინა პარაგრაფებში დამუშავებული სისტემის: “მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყარო-პლაზმატრონის” მოქმედების თეორიული საფუძვლებისა და ამავე სისტემაში ჩართული სამფაზა ძალური გამმართველის ელექტრომაგნიტური პროცესების ანალიზის საფუძველზე და შესაბამისი ალგორითმებისა და პროგრამების გამოყენებით ამ სისტემების ელექტრომაგნიტური პროცესების კვლევის საფუძველზე, როგორც დამყარებულ ასევე გარდამავალი რეჟიმებისათვის, მიღებულია შემდეგი დასკვნები:

– რკალის ნომინალური დენის აღდგენის სიჩქარე ყოველთვის მეტია შუნტირების პროცესში რკალის წინაარმდგობის ცვალებადობისა. ამიტომ რკალის ანოდური ლაქის ნებისმიერი მდებარეობის შემთხვევაში რკალის დენი რჩება პრაქტიკულად მუდმივი. ეს პრაქტიკულად უზრუნველყოფს პლაზმატრონის სტაბილურ ფუნქციონირებას, რაც აფართოებს პლაზმური დანადგარის ტექნოლოგიური გამოყენების არეს და ზრდის მის ხანგამძლეობას.

– ამ პროგრამების გამოყენებით შესაძლებელია მართკუთხა მახასიათებლის მქონე დენის წყაროს ყველა ძალური ელემენტის პარამეტრების გაანგარიშება. ამ გაანგარიშებათა შედეგი აჩვენებს, რომ მართკუთხა მახასიათებლის მქონე დენის წყაროს აქვს გამო ენების დიდი პერსპექტივა მძლავრი სტაციონალური პლაზმური დანადგარებისათვის როგორცაა პლაზმური ბურღვა, სამთო მრეწველობის ნარჩენების გადამუშავება, პლაზმური მონგრევა და სამშენებლო მასალების დამუშავება და ასე შემდეგ.

რკალი 1 ანთია კათოდ 2 და ანოდ 3 შორის, რომელიც ქმნის პლაზმურ ჭავლს 4. პლაზმატრონს გაზი (ამ შემთხვევაში ჰაერი) ჩაეწოდება გაზმომარაგების სისტემიდან (კომპრესორიდან) 5 ხოლო გასაცივებელი წყალი პლაზმატრონს ჩაეწოდება წყლით მომარაგების სისტემიდან 6, რომელიც ამ შემთხვევაში შეიცავს წყლის აგზს და ტუმბოს. პლაზმატრონს დენი მიეწოდება სპეციალური დენის წყაროდან 7. პლაზმური ჭავლი მიმართულია დასამუშავებელი დეტალისაკენ 8. პლაზმატრონი აწობილია კორპუსზე 9. ანოდი და კათოდი ერთმანეთისაგან იზოლირებულია იზოლატორებით 10 და 11. პლაზმატრონის ფოტო მოცემულია ნახაზზე 30, დანადგარის ფოტო მოცემულია ნახაზზე 31, ხოლო მუშაობის პროცესი ასახულია თანდართულ კლიპში.



ნახაზი 30. პლაზმატრონის ფოტო

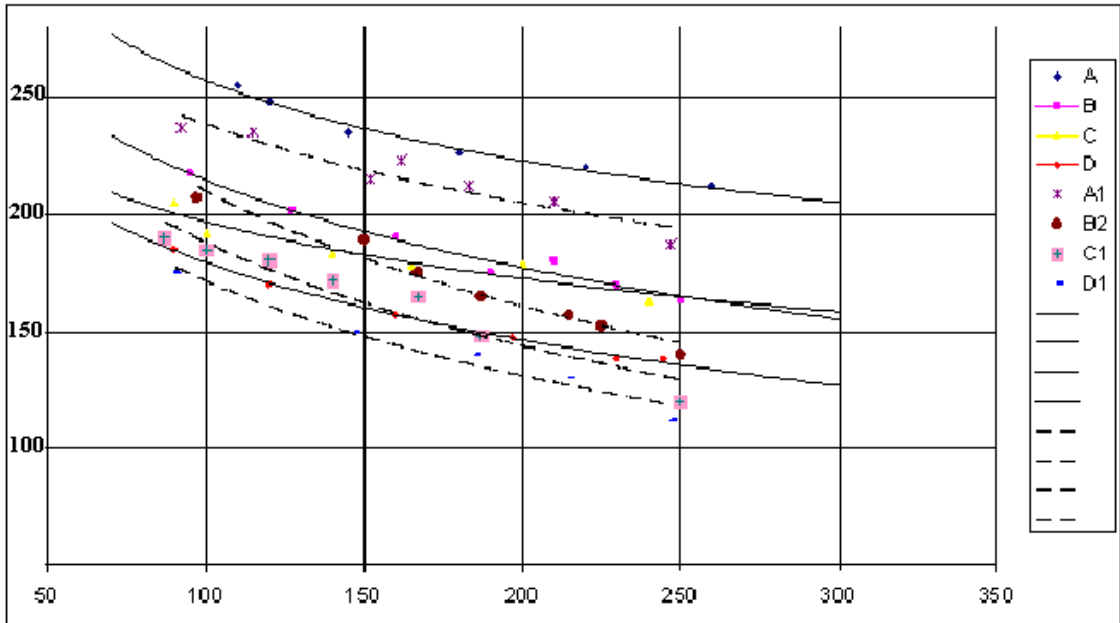
§4.1. პლაზმატრონის ვოლტამპერული მახასიათებლების კვლევა ძირითადი პარამეტრების მიხედვით

პლაზმატრონის ვოლტამპერული მახასიათებლების კვლევა ჩატარებული იქნა შემდეგი ძირითადი პარამეტრების მიხედვით: პლაზმის წარმომქმნელი გაზის ხარჯი G , kg/s, რკალის დენი I , A და გეომეტრიული ზომები. ცდების შედეგები მოყვანილია მე-6 ცხრილში:

ცხრილი 6. პლაზმატრონის პარამეტრების ცვალებადობის ცხრილი 40 კვტ სიმძლავრის პლაზმურ დანადგარზე ჩატარებული ცდების მიხედვით

ცდ. №	დენის ძალა I, A	რკალის ძაბვა, U, V	გაზის ხაღვი, 10^3 G, kg/c	ანოდის ნახვრეტის დიამეტრი 10^3 d, m	წნევა საქმენის კრიტ-ლი კვეთის წინ, 10^{-4} P _{კრ} , H/m ²	საქმენის კრიტ-ლი კვეთის დიამეტრი 10^3 d _{კრ} , m	თბური მ. ქ. კ. ო	d _{კრ} /d
1	100±260	250±205	2,80	5	15,7±17,9	4,5	0,70±0,80	0,900
2	90±240	205±163	1,43	5	16,0±20,3	3,4	0,64±0,75	0,680
3	100±250	170±130	1,10	5	14,6±16,5	3,2	0,62±0,71	0,640
4	95±240	210±158	1,66	4,5	17,2±20,6	3,5	0,68±0,80	0,777
5	100±250	220±163	2,01	5,5	14,0±17,7	4,3	0,70±0,80	0,782
6	100±235	230±175	2,21	6	12,1±15,2	4,7	0,71±0,79	0,783
7	92±250	223±163	1,85	5	11,0±13,0	5	0,71±0,81	1,000
8	100±245	228±173	1,85	5	8,21±10,0	7	0,74±0,83	1,400
9	102±240	232±179	1,85	5	6,47±7,35	8	0,75±0,84	1,600
10	100±240	240±189	1,85	5	3,81±4,25	12	0,75±0,86	2,400
11	95±250	202±163	1,85	5	14,1±16,6	3,9	0,7±0,8	0,780

თვალსაჩინოებისათვის მე-6 ცხრილში ნაჩვენებია PG-3R ტიპის პლაზმატრონის ვოლტამპერული მახასიათებლები ცილინდრული ფორმის ანოდისათვის და PG-401 ტიპის პლაზმატრონის ვოლტამპერული მახასიათებლები კონუსური ფორმის ანოდისათვის.



ნახაზი 31. PG-3R ტიპის და PG-401 ტიპის პლაზმატრონების ვოლტამპერული მახასიათებლები: A,B,C,D - PG-401 ტიპის პლაზმატრონების ვოლტამპერული მახასიათებლები; A1, B2, C1, D2 – PG-3R ტიპის პლაზმატრონების ვოლტამპერული მახასიათებლები.

აღნიშვნები	$10^{-3} \cdot G_1$ kg/s	$10^{-3} \cdot d$, m	$10^{-3} \cdot d_{kp}$, m
A	2,8	5,0	4,5
A1	2,74	“---“	“---“
B	1,85	“---“	3,9
B1	1,82	“---“	“---“
C	1,43	“---“	3,4
C1	1,41	“---“	“---“
D	1,1	“---“	3,2
D1	1,07	“---“	“---“

PG-401 ტიპის პლაზმატრონების ვოლტამპერული მახასიათებლების გრაფიკები უწყვეტი წრფეებია, ხოლო PG-3R ტიპის პლაზმატრონების ვოლტამპერული მახასიათებლების გრაფიკები კი პუნქტირული.

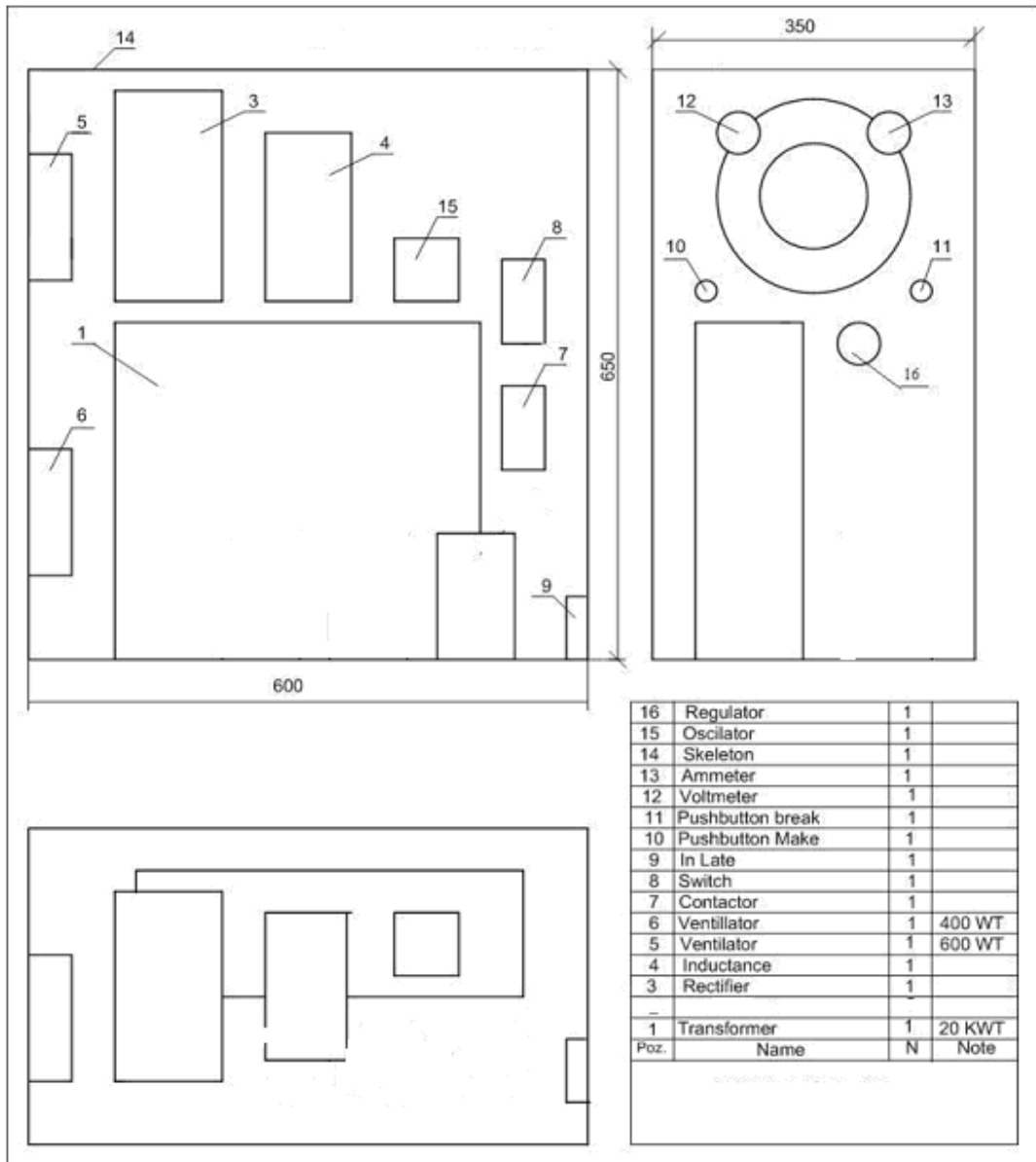
ნახაზიდან (ნახ. 31) ჩანს, რომ PG-401 ტიპის პლაზმატრონების ვოლტამპერული მახასიათებლები განლაგებულია უფრო ზემოთ, ვიდრე PG-3R ტიპის პლაზმატრონების ვოლტამპერული მახასიათებლები. ეს იმას ნიშნავს, რომ ერთიდაიგივე დასაშვები დენის სიდიდეებზე PG-401 ტიპის პლაზმატრონის რკალზე დაბლა უფრო მეტია ვიდრე PG-3R ტიპის პლაზმატრონის რკალზე, მაშასადამე კონუსური ფორმის ანოდის მქონე პლაზმატრონის დასაშვები სიმძლავრე უფრო მეტია, ვიდრე ცილინდრული ფორმის ანოდის მქონე პლაზმატრონისა.

PG-3R ტიპის PG-401 ტიპის პლაზმატრონების ვოლტამპერული მახასიათებლების ანალიზი, რომლებიც ნაჩვენებია ნახაზზე (ნახაზი 31) აჩვენებს, რომ დაბვის მომატება PG-401 ტიპის პლაზმატრონების რკალზე 5-17% - ით მეტია PG-3R ტიპის პლაზმატრონების რკალზე დაბვასთან შედარებით. ამის შედეგად იგივე პროცენტებში იზრდება PG-401 ტიპის პლაზმატრონში გენერირებული ელექტრული სიმძლავრე N, WT ; ენტალპია $i, j/kg$ და ტემპერატურა T, K . ანალოგიური შედეგებია მიღებული პლაზმატრონების სხვა რეჟიმებში მუშაობისას.

ნახაზიდან 31 ჩანს აგრეთვე, რომ PG-401 ტიპის პლაზმატრონების ვოლტამპერული მახასიათებლების გრაფიკების დახრის კუთხეები შემცირებულია, რაც ზრდის პლაზმატრონის მუშაობის სტაბილურობას.

§4.2 მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყაროს შემცველი პლაზმური დანადგარის დამუშავება დამზადება და კვლევა.

ზემოთ მოყვანილი ანალიზის სფუქველზე ჩვენ დავამუშავეთ ტექნიკური პროექტი და დამზადებულ იქნა მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყაროს შემცველი პლაზმური დანადგარი. კვების წყაროს ბლოკ სქემა მოცემოლია 32-ე ნახაზზე, ხოლო ფოტო სურათი- 33-ე ნახაზზე.



ნახაზი 32. მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კეების წყაროს ბლოკ სქემა



ნახაზი 33. მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყაროს ფოტო სურათი

ამ კვების წყაროს გამოცდის შედეგად დადგინდა მისი ტექნიკური მახასიათებლები, რომელიც მოცემულია მე-7 ცხრილში.

ცხრილი 7. მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყაროს ტექნიკური მახასიათებლები

დასახელება	სიდიდე
მკვებავი სამფაზა დენის ძაბვა, V	380
სიხშირე, Hz	50, 60
უქმი სვლის ძაბვა, V	200
ნომინალური დენი, A	80-200
მუშა ძაბვები, V	100-180
ჩართვის ხანგრძლივობა, Cx, %	100
მოსმარებული სიმძლავრე, KW	40
კვების წყაროს გაცივება	ვენტილირებით
გაბარიტული ზომები, mm	650 x 750 x 1200
დანადგარის მასა, kg	350

კვების წყარო მუშაობს შემდეგნაირად: პლაზმატრონზე უქმი სვლის ძაბვის მიწოდებისთანავე პლაზმატრონის კათოდსა და ანოდს შორის ოსცილატორის მეშვეობით რკალი აღიგზნება ავტომატურად. პლაზმატრონის გამორთვა ხდება ავტომატურად რკალის ჩაქრობისას ან კვების წყაროს გამორთვით ქსელიდან. კვების წყარო დამონტაჟებულია ფოლადის კარკასზე, მოთავსებულია რკინის ყუთში და შეიცავს ძალურ რეგულირებად ტრანსფორმატორს ციცაბოდ ვარდნილი მახასიათებლით, ხისტი მახასიათებლის მქონე ტრანსფორმატორს, გამართვის ბლოკს, ვენტილატორს, გამზომ, გამშვებ და მარეგულირებელ აპარატურას. გამართვის ბლოკი აწყობილია სამფაზა ბოგირის სქემით.



ნახაზი 34. პლაზმური დანადგარის ფოტო.

შემდგომ დადგენილ იქნა მაღალრესურსიანი პლაზმატრონის PG-401-ის პარამეტრები მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყაროსთან ერთობლივი მუშაობის შემთხვევაში, გადაღებულ იქნა მისი ვოლტამპერული მახასიათებლები პლაზმის წარმოქმნელი ჰაერის სხვადასხვა ხარჯის (G, კგ/წმ), დენის (I, ა.) სხვადასხვა მნიშვნელობის და სხვადასხვა გეომეტრიული ზომებისათვის.

მიღებული ვოლტამპერული მახასიათებლები პრაქტიკულად არ განსხვავდება იმ მახასიათებლებისაგან, რომლებიც გადაღებულ იქნა სტანდარტული კვების წყაროზე მუშაობისას. მაგრამ განსაკუთრებით თვალსაჩინო იყო პლაზმატრონის სტაბილური მუშაობა მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყაროსთან ერთობლივი მუშაობის

შემთხვევაში. ამასთან ამ შემთხვევაში პლაზმატრონის ანოდის ხანგამძლეობა გაიზარდა 2 ჯერ.

34-ე ნახაზზე ნაჩვენებია პლაზმური დანადგარის ფოტო, ხოლო 35-ე ნახაზზე პლაზმური დანადგარი მუშაობის პროცესში.



ნახაზი 35. პლაზმური დანადგარი სამუშაო მდგომარეობაში.

გამოკვლეულ იქნა აგრეთვე PG-401 ტიპის პლაზმატრონების თბური მახასიათებლები მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყაროსთან ერთობლივი მუშაობის შემთხვევაში. როგორც ექსპერიმენტებმა გვაჩვენა პლაზმატრონის თბური მარგი ქმედების კოეფიციენტი არ არის დამოკიდებული კვების წყაროს ტიპზე. მაგრამ როგორც ცხრილიდან ჩანს ამ კოეფიციენტის მნიშვნელობები საკმაოდ მაღალია და 10-20%-ით აღემატება სხვა ცნობილი ცილინდრული ფორმის მქონე ანოდიანი პლაზმატრონების მაჩვენებლებს.

§4.3. ბუნებრივი სამშენებლო მასალების ზედაპირების პლაზმური მოდნობით დამუშავების პარამეტრების კვლევა.

ჩვენს მიერ დამუშავებულია, დამზადებულია და გამოცდილია 40 კვტ სიმძლავრის პლაზმური დანადგარი, რომელიც განკუთვნილია არალითონური მასალების დასამუშავებლად, კერძოდ: ქანების მოსანგრევად, ქანებიდან ბლოკების მოსაჭრელად, ბლოკების დასაჭრელად, საამშენებლო მასალების მოსაპირკეთებლად და ასე შემდეგ ჩატარებულია ექსპერიმენტალური კვლევები PG-401 ტიპის პლაზმატრონის ოპტიმალური ტექნოლოგიური პარამეტრების დასადგენად ბუნებრივი ქვების ბაზალტისა და ანდეზიტის ზედაპირების მოდნობით დამუშავებისათვის. გამოყენებულ იქნა პლაზმატრონის კონსტრუქციული შესრულების ორი ვარიანტი: ძირითადი ვარიანტი- ელექტროდებს შორისი სადგმელით და ელექტროდებს შორისი სადგმელის გარეშე. მოდნობა ხდებოდა ნახევრად ავტომატურ რეჟიმში. პლაზმატრონი გადაადგილდება სამშენებლო მასალის ზედაპირზე სპეციალური პროგრამის მიხედვით. ასთნაირად განისაზღვრა პლაზმატრონის გადაადგილდების ოპტიმალური სიჩქარეები (V, სმ/წმ), რომლებიც შეესაბამებიან მაქსიმალურ ეფექტურობას სამშენებლო მასალების ზედაპირების დეკორატიულობისა და სიმაგრის თვალსაზრისით.

ქვემოთ მე-8 ცხრილში მოყანილია ზოგიერთი ოპტიმალური ტექნოლოგიური პარამეტრები, რომლებიც შეესაბამებიან მაქსიმალურ ეფექტურობას ბუნებრივი ქანების ზედაპირების მოდნობისას დეკორატიულობისა და სიმაგრის თვალსაზრისით.

ცხრილი 8. ოპტიმალური ტექნოლოგიური პარამეტრები, რომლებიც შეესაბამებიან მაქსიმალურ ეფექტურობას ბუნებრივი ქანების ზედაპირების მოდნობას დეკორატიულობისა და სიმაგრის თვალსაზრისით.

დასამუშავებელი მასალის დასახელება	ცდ. №	პლაზმატრონის ელექტრული სიმძლავრე N, WAT	პლაზმატრონის გადაადგილების სიჩქარე, V, sm/c	ერთ გავლაზე მოდ-ლი ზედაპირის სიგანე ნ, sm	პლაზმატრონის დახრის კუთხე	მანძილი პლაზმატრონსა და მასალის ზედაპირს შორის ს, sm	პლაზმის ნაკადის გამოდინების რეჟიმი
ბაზალტი	1	3,5	2,5	0,7	30 - 35	0,5 – 0,7	ტურბულენტური
	2	4,8	5				ლამინარული
	3	8	10,3				გარდამავალი
	4	11	10,8				ტურბულენტური
	5	19	15				ტურბულენტური
ანდეზიტი	1	3,5	2,7	0,7	30 - 35	0,5 – 0,7	ტურბულენტური
	2	4,8	5				ლამინარული
	3	8	11				გარდამავალი
	4	11	12				ტურბულენტური
	5	19	15				ტურბულენტური

36-ე ნახაზზე ნაჩვენებია პლაზმით მოდნობილი ბაზალტისა და ანდეზიტის ზედაპირები.



ნახაზი 36. პლაზმით მოდნობილი ბაზალტისა და ანდეზიტის ზედაპირები.

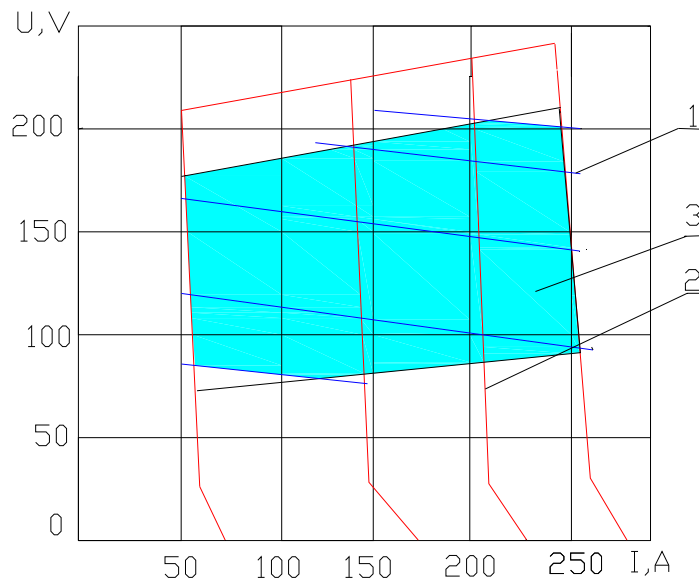
წარმოდგენილი პლზმური დანადგარის გამოცდები ჩატარდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის პლაზმის ლაბორატორიის ბაზაზე კანადის ტორონტოს უნივერსიტეტის პროფესორის მონაწილეობით.

37-ე ნახაზზე ნაჩვენებია პლზმური დანადგარის ერთობლივი გამოცდა.



ნახაზი 37. პლზმური დანადგარის ერთობლივი გამოცდა კანადის ტორონტოს უნივერსიტეტის პროფესორის მონაწილეობით.

შემდგომ ჩატარებული ექსპერიმენტალური სამუშაოების ბაზაზე განისაზღვრა სისტემის: “მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყარო-პლაზმატრონის” სტაბილური მუშაობის არე, რომელიც წარმოდგენილია 38-ე ნახაზზე.



ნახაზი 38. სისტემის: “მარტკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყარო-პლაზმატრონის” სტაბილური მუშაობის არე. 1. პლაზმატრონის მახასიათებლები; 2. კვების წყაროს მახასიათებლები; 3. პლზმური დანადგარის სტაბილური მუშაობის არე.

ამ ნახაზიდან (ნახ. 38) ჩანს, რომ პლაზმატრონის დენი ფაქტიურად განისაზღვრება კვების წყაროზე წინასწარ დაყენებული დენით და იცვლება მხოლოდ 5%-ით მის მიმართ. წარმოდგენილ არეში პლზმური დანადგარის მუშაობისას პლზმური დანადგარის სტაბილური მუშაობის გამო პლაზმატრონის ხანგამძლეობა იზრდება 2-2,5 ჯერ. გარდა ამის გამირიცხულია პლაზმატრონის გაფუჭება პლზმური დანადგარის რეჟიმების შემთხვევითი დარღვევების გამო, რაც უაღრესად მნიშვნელოვანია პლზმური დანადგარის ფუნქციონირების ხასიათის გამო.

შედეგად შეიძლება დავასკვნათ, რომ პლაზმატრონის ხანგამძლეობა და ფუნქციონირების სტაბილური მუშაობა ყველაზე სრულად უზრუნველყოფილია მარტკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყაროზე მუშაობისას.

§4.4. პლაზმატრონის საქშენის კრიტიკული კვეთის წინ წნევის ცვალებადობის ხასიათის კვლევა.

გამოკვლეულია PG-401 ტიპის პლაზმატრონის საქშენის კრიტიკული კვეთის (საქშენის შესასვლელის) წინ P პარამეტრის (წნევის) ცვალებადობის ხასიათი პლაზმატრონის მართკუთხა მახასიათებლის მქონე კვების წყაროსთან ერთობლივი მუშაობის შემთხვევაში. მიღებული წნევის მახასიათებლები პრაქტიკულად არ განსხვავდება იმ მახასიათებლებისაგან, რომლებიც გადაღებულ იქნა სტანდარტული კვების წყაროზე მუშაობისას.

§4.5. ხელოვნური სამშენებლო მასალების ზედაპირების პლაზმური მოდნობით დამუშავების პარამეტრების კვლევა.

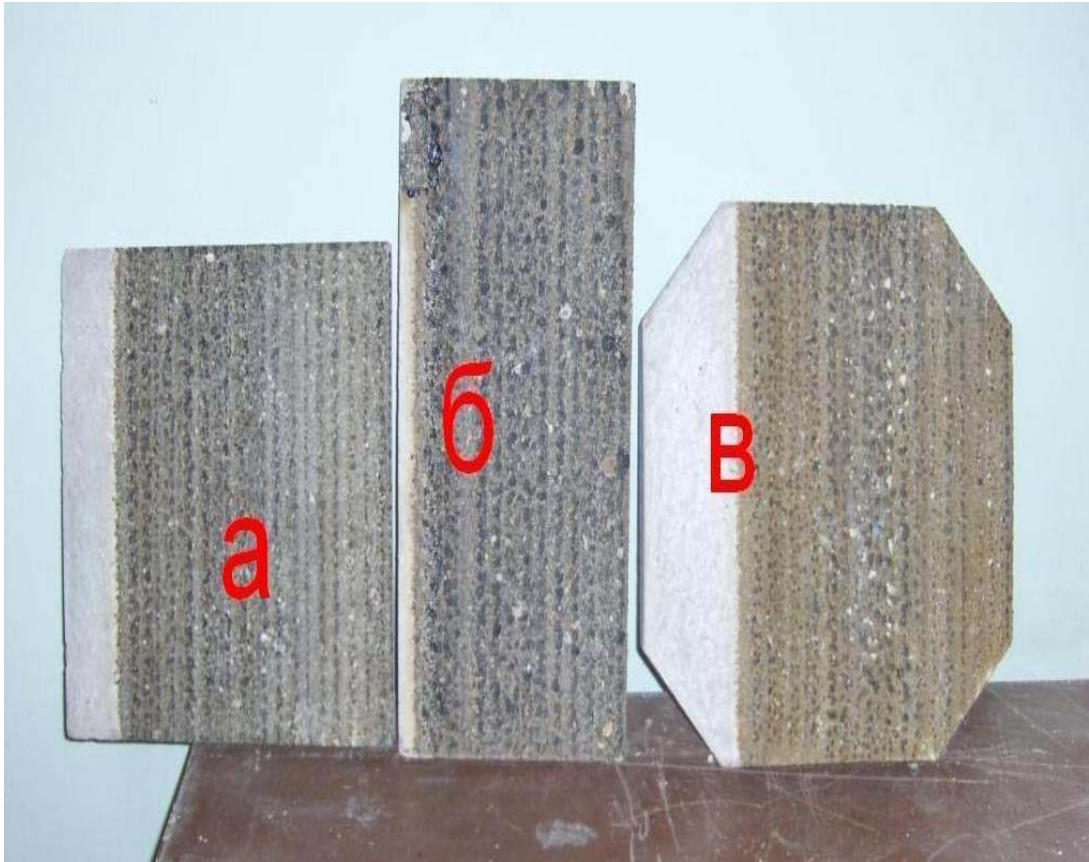
ჩატარებულია ექსპერიმენტალური კვლევები PG-401 ტიპის პლაზმატრონის ოპტიმალური ტექნოლოგიური პარამეტრების დასადგენად ხელოვნური სამშენებლო მასალების ზედაპირების მოდნობით დამუშავებისათვის. გამოყენებულ იქნა პლაზმატრონის კონსტრუქციული შესრულების ორი ვარიანტი: ძირითადი ვარიანტი- ელექტროდებს შორისი სადგმელით და ელექტროდებს შორისი სადგმელის გარეშე. მოდნობა ხდებოდა ნახევრად ავტომატურ რეჟიმში. პლაზმატრონი გადაადგილდება სამშენებლო მასალის ზედაპირზე სპეციალური პროგრამის მიხედვით. ასეთნაირად განისაზღვრა პლაზმატრონის გადაადგილდების ოპტიმალური სიჩქარეები (V, sm/c), რომლებიც შეესაბამებიან მაქსიმალურ ეფექტურობას სამშენებლო მასალების ზედაპირების დეკორატიულობისა და სიმაგრის თვალსაზრისით.

ქვემოთ მე-9 ცხრილში მოყვანილია ზოგიერთი ოპტიმალური ტექნოლოგიური პარამეტრები, რომლებიც შეესაბამებიან მაქსიმალურ ეფექტურობას ხელოვნური სამშენებლო მასალების მოდნობას დეკორატიულობისა და სიმაგრის თვალსაზრისით.

ცხრილი 9. ოპტიმალური ტექნოლოგიური პარამეტრები, რომლებიც შეესაბამებიან მაქსიმალურ ეფექტურობას ხელოვნური სამშენებლო მასალების ზედაპირების მოდნობას დეკორატიულობისა და სიმაგრის თვალსაზრისით.

დასამუშავებელი მასალის დასახელება	ცდ. №	პლაზმა ტრონის ელექტრული სიმძ., N, WAT	პლაზმატრონის გადაადგილების სიჩქარე, V, sm/c	ერთ გავლაზე მოდნობილი ზედაპირის სიგანე d, sm	პლაზმა ტრონის დახრის კუთხე	მანძილი პლაზმატრონსა და მასალის ზედაპირს შორის L, cm	პლაზმის ნაკადის გამოდინების რეჟიმი
ბეტონი M400 შემავსებელი ღორღი	1	3,5	2,6	0,7	30 - 35	0,5 – 0,7	ტურბულენტური
	2	4,8	5,5				ლამინარული
	3	8	10,5				გარდამავალი
	4	11	11				ტურბულენტური
	5	19	15,5				ტურბულენტური
ბეტონი M300 შემავსებელი ღორღი	1	3,5	2,7	0,7	30 - 35	0,5 – 0,7	ტურბულენტური
	2	4,8	5,5				ლამინარული
	3	8	10,6				გარდამავალი
	4	11	11				ტურბულენტური
	5	19	15,6				ტურბულენტური
ბეტონი M300 შემავსებელი ღორღი და დეკორული თეთრი ცემენტი	1	3,5	2,6	0,7	30 - 35	0,5 – 0,7	ტურბულენტური
	2	4,8	5,6				ლამინარული
	3	8	10,7				გარდამავალი
	4	11	11,5				ტურბულენტური
	5	19	16				ტურბულენტური

39-ე ნახაზზე ნაჩვენებია პლაზმით მოდნობილი ხელოვნური სამშენებლო მასალების ზედაპირები.



ნახაზი 39. პლაზმით მოდნობილი ბეტონის ფილების ზედაპირები: a – 300 მარკის ბეტონის ფილა ღორღის შემავსებლით; ბ– 400 მარკის ბეტონის ფილა ღორღის შემავსებლით; B– თეთრი დეკორაციული ბეტონის ფილა ღორღის შემავსებლით.

როგორც ცხრილიდან ჩანს ბეტონის ფილების ზედაპირების მოდნობის ოპტიმალური სიჩქარეები 5-7%- ით მეტია ბუნებრივი ქანების ზედაპირების მოდნობის ოპტიმალურ სიჩქარეებზე.

§5. დასკვნა

სადისერტაციო ნაშრომი წარმოადგენს ავტორის დამთავრებულ თეორიულ და ექსპერიმენტალურ გამოკვლევებს, რომელთა ძირითადი მიზანია პლაზმური ტექნოლოგიებში ახალი მიმართულების – სამთო ინდუსტრიული მრეწველობის პლაზმური ტექნოლოგიის საფუძვლების შექმნა. კერძოდ სამთო საქმეში პლაზმური ტექნოლოგიის გამოყენების

პერსპექტიული არეების გამოვლენა, პლაზმურ დანადგარებში მიმდინარე ელექტრო ფიზიკური და ელექტრო მაგნიტური პროცესების ანალიზი, პლაზმატრონის მუშაობის თბური პროცესების ანალიზი თეორიული და ექსპერიმენტალური მონაცემების საფუძველზე, მყარი ქანის ზედაპირზე პლაზმური ალის ზემოქმედების თბური პროცესების თეორიული ანალიზი, პლაზმური დანადგარის დენის წყაროს მიმართ წაყენებული იმ კრიტერიუმების და დგენა, რომლებიც უზრუნველყოფენ პლაზმატრონის სტაბილურ და ეფექტური მუშაობას, სამთო საქმეში გამოყენებადი ორიგინალური პლაზმური ჭავლის ფორმირების მეთოდებისა და პლაზმური დანადგარების კონსტრუქციების დამუშავება, სამთო ქანების პლაზმური დამუშავების ტექნოლოგიის დამუშავება, 40 კვტ სიმძლავრის არა ლითონური მასალების დასამუშავებელი პლაზმური დანადგარის დაპროექტება, დამზადება, გამოცდა, გამოკვლევა და დანერგვა.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები მდგომარეობს შემდეგში:

1. ჩამოყალიბებულია სამთო საქმეში პლაზმური ტექნოლოგიის გამოყენების პერსპექტიული არეები: მყარი ქანების მონგრევა; მყარი ქანებისაგან სამშენებლო მასალების დამზადება და მოპირკეთება; პლაზმური ბუღრვა და სამთო მომპოვებელი ინდუსტრიის ნარჩენების გადამუშავება;
2. პლაზმურ დანადგარებში მიმდინარე ელექტროფიზიკური პროცესებისა და ელექტრომაგნიტური პროცესების ანალიზის საფუძველზე მიღებულია პლაზმურ დანადგარების სტაბილური და ეფექტური მუშაობის კრიტერიუმები და ჩვენს მიერ პირველად დადგენილია, რომ პლაზმური დანადგარების კვების წყაროს სტატიკურ და დინამიურ ვოლტამპერულ მახასიათებლებს უნდა ჰქონდეთ ბუნებრივი მართკუთხა მახასიათებლის ფორმა;
3. ექსპერიმენტალური მონაცემებისა და პლაზმატრონში მიმდინარე თბური პროცესების თეორიული ანალიზის საფუძველზე ჩატარებულია პლაზმატრონის ანოდის სხვადასხვა მეთოდებით გაცივების პროცესის შედარებითი ანალიზი. წყლით და ჰაერით კონვექციური გაცივება შედარებულია წყლის დუღილით გამოწვეულ გაცივების პროცესთან.

დადგენილია, რომ წყლის დუღილით ელექტროდების გაცივება წყლით კონვექციური გაცივების თანაბარძალიანია;

4. ქანის ზედაპირზე პლაზმური ალის ზემოქმედების თბური პროცესების ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ ტემპერატურის გავრცელება ქანის მასივში ექვემდებარება ტალღისებრ მოდელს და, როდესაც საკმაოდ დიდი ტემპერატურული გრადიენტი არის გენერირებული, ნებისმიერი მყარი ქანი იქნება ატკეხილი(აფშენილი);

5. შექმნილია პატენტებით დაცული პლაზმური ჭავლის ფორმირების შემდეგი პერსპექტიული მეთოდები და კონსტრუქციული გადაწყვეტები:

6. მრავალკომპონენტიანი საკათოდე ფხვნილის ნარევის აფეთქების ტალღით ან იმპულსური მაგნიტური ტალღით კომპაქტირებით პლაზმატრონის კათოდის დამზადების მეთოდი, რაც იძლევა პლაზმატრონის ისეთი კათოდის დამზადების შესაძლებლობას, რომლიც იმუშავებს ნებისმიერი ტიპის გაზის გარემოში და უზრუნველყოფს სრულ თბურ კონტაქტს საკათოდე ღეროსა და გამაცივებელ ღეროს შორის;

7. ღია ტიპის მძლავრი პლაზმური წარმონაქმნის მიღების ხერხი, რაც გამოიხატება იმაში, რომ თავისუფალი პლაზმური ჭავლის ჩაკეტილი კონტური ჰკვეთს ცვლად მაგნიტურ ნაკადს, რომელიც აინდუქტირებს მასში ელექტრო მამოძრავებელი ძალას. მაგნიტური ნაკადი თავისუფალი პლაზმური ჭავლის ჩაკეტილი კონტურში აღძრავს ელექტრო მამოძრავებელი ძალას, რომელიც ამ კონტურში წარმოშობს დენს. ეს დენი არ გადის არც ერთ პლაზმური ჭავლის წარმომქმნელ ხელსაწყოში. ამიტომ პრაქტიკულად ამ დენის ძალის სიდიდე შეზღუდული არ არის და შესაძლებელია ნებისმიერი სიმძლავრის პლაზმატრონის დამზადება;

8. მძლავრი პლაზმური ჭავლის მიღების ხერხი უზრუნველყოფს მძლავრი პლაზმური ჭავლის მიღებას უშუალოდ ერთ პლაზმატრონში ერთ ღერძზე რამდენიმე რკალის შეთავსებით, რომელსაც გააჩნია ყველა რკალის ჯამური სიმძლავრე, ხოლო პლაზმატრონის ჯამური დენი გადანაწილებულია რამდენიმე კათოდურ და ანოდურ ლაქაზე. მაშასადამე პლაზმატრონის დასაშვები დენის ძალის სიდიდე იზრდება იმდენჯერ, რამდენჯერაც გაიზრდება ასე დაწყვილებულ ელექტროდთა რაოდენობა;

9. პლაზმური ბურღვის მეთოდი, რომელიც ითვალისწინებს ბურღის ნაცმის პლაზმით გახურებას, ამ გახურებული ნაცმით ქანის გადნობას და გამდნარ ქანში ქანის გადნობისას ქანის ფორიანობის შემცირების შედეგად ქანის მოცულობის შემცირებისა და გამოყოფილი გაზების შეკუმშვის ხარჯზე ნაცმის ჩაღრმავებას ქანში. მაშასადამე ნაბურღი მასალის (ჯერ გამდნარი და შემდეგ გაცივებული ქანის) ზედაპირზე ამოტანა საჭირო არ არის და უმრავლეს შემთხვევაში არც სამაგრი მიღების გამოყენებაა აუცილებელი;

10. ქვანახშირის გამდიდრების ნარჩენებისა (ტყიბული, ახალციხე, ტყვარჩელი) და მეტალურგიული ნარჩენების (რუსთავი, ზესტაფონი) პლაზმური გადამუშავების მეთოდები.

11. დაპროექტებულია, დამზადებულია, გამოცდილია, გამოკვლეულია და დანერგილია 40კვტ სიმძლავრის არა ლითონური მასალების დასამუშავებელი პლაზმური დანადგარი, რომელიც განკუთვნილია ქანების მოსანგრევად, ქანებიდან ბლოკების მოსაჭრელად, ბლოკების დასაჭრელად, საამშენებლო მასალების მოსაპირკეთებლად და ასე შემდეგ;

12. ამ დანადგარის თეორიული კვლევის შედეგად განსაზღვრულია პლაზმური დანადგარის ძირითადი საპროექტო პარამეტრები ასეთი შემთხვევისათვის, კერძოდ, უკუძაბვები დიოდებზე, დიოდების დენები, ძალური ტრანსფორმატორის პირველადი და მეორადი გრაგნილების ხაზური და ფაზური დენები და ძალური ტრანსფორმატორის პირველადი და მეორადი გრაგნილების ხაზური და ფაზური ძაბვები; შექმნილია ამ პარამეტრების საანგარიშო ალგორითმები და პროგრამები;

13. ექსპერიმენტული მონაცემების ანალიზის შედეგად მიღებულია ფორმულები, რომლებიც იძლევიან პლაზმატრონის განზოგადოებულ ვოლტამპერულ, თბური და წნევის მახასიათებლებს და განსაზღვრულია პარამეტრების კომბინაცია, რომლებისთვისაც ეს ფორმულები სამართლიანია.

ლიტერატურა

1. Gelenidze D., Makharadze L., Silagadze V., Djangidze M., Steryikova S., Gelenidze M. Analysis of the operation of system "plasmatron—power source". Works of mining-geological section of Int.sci-eng. "Recent technologies and Georgia", Tbilisi. 2002. pp.78-84.
2. ბათხაძე ზ., გელენიძე დ., სტერიაკოვა ს., გელენიძე მ. ირიბი ზემოქმედების პლაზმატრონის ელექტროდების გაცივების სისტემების შედარებითი ანალიზი. "სამთო ჟურნალი". თბილისი. 2005. №1(4). გვ. 61-64.
3. დ. გელენიძე, გ. გოგია, ლ. მახარაძე, ც. სიჭინავა. პლაზმური დანადგარების დამუშავება სამთო სამუშაოების წარმოებისათვის. "სამთო ჟურნალი". თბილისი. 2008. №1-2(20-21). გვ. 30-35.
4. Ватхадзе З.Г., Гогия Г.К., Геленидзе Д.М., Ватхадзе Л.Г. Исследование характера потери тепловой мощности через стенки водоохлаждаемого цилиндрического анода в плазматроне косвенного действия. "Энергия". Тбилиси. 2008. №1(45). стр.32-38.
5. Gelenidze D., Gogia G., Batkhadze Z., Marquis F.D.S., Gelenidze M. Two new ways of formation of plasma jet for processing rocks. Scientific - Technical Journal "ENERGY". Tbilisi. 2008. #1(45). pp. 27-32.
6. დ. გელენიძე, გ. გოგია, ც. სიჭინავა, ზ. ბათხაძე. მძლავრი პლაზმური ჭავლის მიღების ხერხი. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "ენერჯია". თბილისი. 2009. №2(50)-1. გვ. 55-60.
7. Gelenidze D., Gogia G., Batkhadze Z., Gelenidze M. The analysis of work of three phase rectifiers on the power supply of a plasma arc with the rectangular characteristic. "Mining Journal". Tbilisi. 2009. #2(23). pp. 63-68.
8. გელენიძე დ. პლაზმური ტექნოლოგიების სამთო საქმეში გამოყენების შესაძლებლობების ანალიზი. "სამთო ჟურნალი". თბილისი. 2010. №2(25). გვ. 44-51.
9. Gelenidze D. "Development of Plasma Torches for Recycling Hazardous Industrial and Military Wastes". The 20th International Conference on Solid Waste Technology and Management. Philadelphia, PA, USA. Ap. 3-6, 2005. pp. 114-121.
10. Batkhadze Z., Gelenidze D., Marquis F.D.S., Mostaghimi J., Gelenidze M., Chankvetadze Z. Svintradze T. "Plasma Facility for Basalt Filaments Production". Materials Science and Technology (MS&T). Detroit, Michigan, USA, September 12-20, 2007. pp. 109-116.
11. Gelenidze D.M., Prof. Gogia G. K. "DEVELOPMENT OF PLASMA DEVICE FOR RECYCLING HAZARDOUS INDUSTRIAL AND MILITARY WASTES". International Scientific Technical conference "New Technologies In Modern Industry". Tbilisi. April 29-30, 2010. pp 171-173.
12. გელენიძე დ. "პლაზმური ტექნოლოგიების სამთო საქმეში გამოყენების შესაძლებლობების ანალიზი". სამეცნიერო კომფერენცია

“თანამედროვე სამთო ტექნოლოგიები”. თბილისი. 18-19 მაისი, 2010.
http://www.mining.org.ge/ge/other_ge/Article_Gelenidze.pdf

13. გელენიძე მ., ნაჭყებია შ., მერაბიშვილი პ., ნემსაძე შ., გელენიძე დ. პლაზმური ჭავლს გაძლიერების ხერხი. საქართველოს პატენტი, GE P 4010 B. 12.25.2006. AP 009009. 06.10.2005.
14. გელენიძე დ., მახარაძე ლ., გელენიძე გ., სილაგაძე ვ., ბათხაძე ზ. გელენიძე მ. პლაზმატრონის კათოდის დამზადების ხერხი. საქართველოს პატენტი, GE P 4440 B. 25.07. 2008. AP 009694. 07.11.2006.
15. ნემსაძე შ., ნაჭყებია შ., მერაბიშვილი პ., გელენიძე მ., გელენიძე დ. პლაზმური ჭავლის აჩქარების მეთოდი. საქართველოს პატენტი, GE P 4350 B. 10.04.2008. AP 009213. 09.02.2006.
16. გელენიძე დ., გელენიძე გ., გელენიძე მ., სიჭინავა ც. ზემდლავრი პლაზმური წარმონაქმნის მიღების ხერხი. საქართველოს პატენტი, GE P 4945 B. 12.04.2010. AP 010739. 05.06.2008.
17. გელენიძე დ., გოგია გ., გელენიძე გ., გელენიძე მ., ჭანკვეტაძე ზ. მძლავრი პლაზმური ჭავლის მიღების ხერხი. საქართველოს პატენტი, GE P 4948 B. 12.04.2010. AP 010816. 16.07.2008.
18. გელენიძე დ., გელენიძე გ., გელენიძე მ., სიჭინავა ც. ელექტრული ენერჯის გადაცემის ხერხი. საქართველოს პატენტი, GE P 4944 B. 12.04.2010. AP 010738. 05.06.2008.
19. გელენიძე დ., გოგია გ., გელენიძე გ., გელენიძე მ. მართკუთხა მახასიათებლიანი დენის წყარო. ბრძანება №327/01 პატენტის გაცემის შესახებ. 01.11.2010წ. (იბეჭდება). AP 011357. 09.07.2009.
20. გელენიძე დ., გოგია გ., გელენიძე გ., გელენიძე მ. ავალიანი ზ., ოცხელი დ. პლაზმური ბურღვის ხერხი. განაცხადი საქართველოს პატენტის მიღებაზე, AP 011478. 2009.
21. ნაჭყებია შალვა, გელენიძე გიორგი, გოგია გურამი, გელენიძე დავითი, ბათხაძე ზაური, ჭანკვეტაძე ზაური, გელენიძე მედგარი, ნანო მასალების დაფრქვევის ხერხი. განაცხადი საქართველოს პატენტის მიღებაზე, AP 2010 011828.
22. ფრანგიშვილი ა., გასიტაშვილი ზ., გელენიძე დ., გოგია გ., გელენიძე გ. გელენიძე მ., ლომთათიძე გ. ელექტროგამტარული ნარჩენების პლაზმური გადამუშავების ხერხი. განაცხადი საქართველოს პატენტის მიღებაზე, AP 011977. 21.10.2010.
23. ფრანგიშვილი ა., გასიტაშვილი ზ., გელენიძე დ., გოგია გ., გელენიძე გ. გელენიძე მ. მყარი მასალების პლაზმის მიღების ხერხი. განაცხადი საქართველოს პატენტის მიღებაზე, AP 011978. 21.10.2010.
24. United States Patent #3467206, Plasma Drilling, 1969.
25. United States Patent #7270195, Plasma Channel Drilling Process, 2007.

26. Yaffa & Shalom Eliezer, *The Fourth State of Matter*, Hilger, Bristol, 1989 (2nd edition, 2001), 226 p.
27. Thompson P. D. *Gases & Plasmas*. Lippincott Company, Philadelphia, 1966, 168 p.
28. *Plasma Science. From Fundamental Research to Technological Applications*. National Academy Press, Washington D.C., 1995, 208 p.
29. *Plasma Science and Technology*, web Site; <http://plasmas.org/>, 2010.
30. Goedbloed J. *The Principles of Magnetohydrodynamics: With Applications to Laboratory and Astrophysical Plasmas*, Cambridge, 2004, pp. 377-379.
31. Kruer W. *The Physics of Laser Plasma Interactions*. Westview Press, 2003, 202 p.
32. Paul Gibbon, *Short Pulse Laser Interactions with Matter*, Imperial College Press, 2000, 312 p.
33. Davidson R. *The Physics of Nonneutral Plasmas*, Imperial College Press, 2001.
34. Rozhansky V. A. and Tsendin L. D. *Transport Phenomena in Partially Ionized Plasma*. Taylor & Francis Group, London, 2001. Parts A and B.
35. Wilhelmsson H. and Lazzaro E. *Reaction-Diffusion in the Physics of Hot Plasmas*. Publisher: Institute of Physics (GB), 2000, 165 p.
36. Moiseev S.S., Oraevsky V.N., Pungin V.G. *Nonlinear instabilities in plasmas and hydrodynamics*. Bristol: IOP Publishing, 1999, 162 p.
37. Vladimir Fortov and Igor Iakubov. *The Physics of Non-Ideal Plasma*. Imperial College Press, 1999, 416 p.
38. *Plasma Chemistry*, Ed. L.S.Polak and Yu.A.Lebedev, Cambridge Interscience Publ., London, 1998.
39. Brambilla M. *Kinetic Theory of Plasma Waves: Homogeneous Plasmas*, Oxford, 1998.
40. Shukla P, Mendis D. & Chow V. *The Physics of Dusty Plasmas*. Editors, World Scientific, 1996, pp 93-101.
41. Liu C. S. and Tripathi V. K. *Interaction of Electromagnetic Waves with Electron Beams and Plasmas*. World Scientific, 1994, 180 p.
42. Lochte-Holtgreven W. *Plasma Diagnostics*. North-Holland, 1968, APS 1995.
43. Sanborn C. Brown. *Basic data of plasma physics*. AIP Press, 1994. 352 p.
44. Setsuo Ichimaru. *Statistical Plasma Physics*, Vol. 1. Basic Principles, Vol. 2. Condensed Plasmas, Perseus Books, 1994.
45. Thomas Stix. *Waves in Plasmas*. AIP Press, 1992. Vol 2, pp 25-40.
46. Stefan V. *Nonlinear and Relativistic Effects in Plasmas*. ed., AIP, 1992.
47. Mikhailovskii A. *Electromagnetic Instabilities in an Inhomogeneous Plasma*, IOP, 1992. 388 p.
48. Cairns R. A. *Radiofrequency Heating of Plasmas*. Taylor & Francis, 1991, 170 p.

49. Ronald Davidson. An Introduction to the Physics of Nonneutral Plasma. Addison-Wesley, 1990. Chapter 2, pp. 41- 62.
50. A. Galeev and R. Sudan. Basic Plasma Physics. Vol. 2, pp. 123-182.
51. Freidberg J. P. Ideal Magnetohydrodynamics, Plenum Pr., NY, 1987. pp. 110- 259.
52. Grabbe C. L. Plasma Waves and Instabilities ed., American Assoc. of Physics Teachers, 1986. 137 p.
53. Dwight Nicholson. Introduction to Plasma Theory. Wiley & Sons Inc. 1983. 292 p.
54. Fridman A and Kennedy L. Plasma Physics and Engineering. Taylor & Francis, 2004. 860 p.
55. Bundesministerium fur Bildung und Forschung, Plasma Technology, BMBF (www.bmbf.de), Germany, 2001 (in German and English - www.bmbf.de/pub/plasma_technology.pdf)
56. J. Reece Roth. Industrial Plasma Engineering, vol 2: Applications to nonthermal plasma processing. IOP Publishing Ltd, Cornwall, UK, 2001.
57. E. Bazelyan and Y. Raizer, Lightning Physics and Lightning Protection, IOP, 2000.
58. Yu. M. Aliev, H. Schluter, and A. Shivarova. Guided-Wave-Produced Plasmas (Springer Series on Atomic, Optical, and Plasma Physics), 2000. 291 p
59. W. N. G. Hitchon, Plasma Processes for Semiconductor Fabrication. Cambridge, 1999. pp. 8-30.
60. Dusty Plasmas: Physics, Chemistry and Technological Impacts in Plasma Processing, Andre Bouchoule, ed., Zukov and O. Solonenko, eds., Lavoisier, 1999.
61. Thermal Plasmas and New Materials Technology, vol 1&2, M. Zukov and O. Solonenko, eds., Cambridge, 1999.
62. M. Sugawara, Plasma Etching: Fundamentals and Applications, Oxford, 1998.
63. Generation and Application of High Power Microwaves, R. Cairns and A. Phelps, eds., IOP, 1997.
64. Environmental Aspects in Plasma. Science, W. Manheimer, L.E. Sugiyama, and T.H. Stix, Eds., American. Institute of Physics Press, Woodbury, New York, 1997, Chap. 11, pp. 261–298.
65. Plasma Science and the Environment, W. Manheimer, L. Sugiyama, and T. Stix, eds., AIP, 1996.
66. Stephen O. Dean and Poltoratskaya N. "Applications of Fusion and Plasma Device Technologies," in Plasma Devices and Operations, Vol. 4, 1995.
67. J. Reece Roth. Industrial Plasma Engineering, Vol. 1 - Principles, IOP, 1995.
68. Michael Lieberman and Allan Lichtenberg. Principles of Plasma Discharges and Materials Processing, Wiley & Sons, 1994, pp. 649-678.
69. Alfred Grill. Cold Plasma in Materials Fabrication, IEEE Press, 1994, Pages 272.

70. R. Suryanarayanan. Plasma Spraying: Theory and Applications, ed., World Scientific, 1993, pp 17-42.
71. Non-thermal Plasma Techniques for Pollution Control, B. M. Penetrante and S. E. Schulteis, eds., NATO-ASI Series G, Vol. 34, Parts A and B, 1993.
72. Plasma Technology: Fundamentals and Applications, eds. M. Capitelli and C. Gorse, Plenum Press, 1992. p. 185-201.
73. Dry Etching for VLSI, eds. A. J. van Roosmalen, J. A. G. Baggerman, S.J.H. Brader, Plenum Press, NY, 1991.
74. Handbook of Plasma Processing Technology, eds. S. Rossnagel, J. Cuomo, and W. Westwood, Noyes Publications, 1990. Part I I. pp 14-20.
75. Manos D. and Flamm D. Plasma Etching. Academic Press, 1989, pp. 305-312.
76. Russ Morgan. Plasma Etching in Semiconductor Fabrication, Elsevier, 1985, 250 p.
77. Plasma Diagnostic Techniques, eds. R. Hudlestone and S. Leonard, Academic Press, 1978.
78. Hollahan J. and Bell A. Techniques and Applications of Plasma Chemistry, eds. Wiley & Sons, 1974, 489 p.
79. Gross B., Grycz B. and Miklossy K. Plasma Technology, Iliffe Books, London, 1969, 487 p.
80. Conrads H. and Schmidt M. Plasma Sources: Science and Technology, 2000, vol. 9, pp. 441–457.
81. Venkatramani N. Industrial plasma torches and applications. Laser and Plasma Technology Division, Bhabha Atomic Research Centre, Mumbai 400 085, India, 2002, vol. 83, pp. 254-262.
82. Dresvin S. V. Physics and Technology of Low Temperature Plasmas. Iowa State University Press, 1977, 482 p.
83. Pfender E. Electric Arcs and Arc Gas Heaters in Gaseous Electronics: Electrical Discharges. Eds, (New York: Academic) 1978. Vol 1. pp 291-398.
84. Fauchais, P., Bourdin, E., Coudert, J. F. and McPherson, R., Top., Curr. Chem., 1983. pp. 59-107.
85. Dembovsky, V. Plasma Metallurgy – The Principles, Elsevier, Amsterdam, 1985.
86. R. Knight, R.W. Smith, D. Apelian, "Plasma Technology for Reactive Metal Melting: Current Devices and Process Limitations". Published by the British National Committee for Electroheat, Sept. 25-27, 1990, pp. 1.3-1.4.
87. Solonenko O. P. Thermal Plasma and New Materials Technology, Cambridge Interscience Publishing, Cambridge, 1996, 560 p.
88. Camacho, S. L., Pure Appl. Chem., 1988, 60, 619–632.
89. Geogh J. A. Advanced Methods of Machining. Chapman & Hall, London, 1988. 247 p.

90. Von Engel, A., *Electric Plasmas: Their Nature and Uses*, Taylor and Francis, London, 1983. 247 p.
91. Lancaster J. F. *Physics of Welding*. Pergamon, Oxford, 1986. 448 p.
92. Sreekumar K. P., Karthikeyan J., Ananthapadmanabhan P. V., Venkatramani N. and Chatterjee U. K. BARC Report 1551, Mumbai, 1991.
93. Thorpe M.L. Thermal spray industry in transition. *Adv. Mater. Process.* 143 5 (1993), pp. 50–61.
94. Ageorges, H., Megy, S., Chang, K., Baronnet, J.-M., Williams, J. K. and Chapman, C., *Plasma Chem. Plasma Proces.* 1994, 13, 613.
95. Kong, P. C. and Pfender, E. *Combustion and Plasma Synthesis of High Temperature Materials* (eds. Munir, Z. A. and Holt, J. B.). Wiley, Europe, 1990. p 420
96. Mac Rae D. R. *Plasma Technology in Metallurgical Processing* (ed. Feinman, J.), Iron and Steel Society, USA, 1987. 208 p.
97. Conrads, H. and Schmidt, M., *Plasma Sources: Science and Technology*, 2000. vol. 9. pp. 441–457.
98. Батхадзе З. Г. Исследование катодного узла породоразрушающих термоминструментов конструкции ИГМ АН ГССР. Республиканская научно-техническая конференция молодежи «Проблемы наук о земле», материалы докладов. Тбилиси, 1978 г. с.51-53.
99. Батхадзе З. Г., Геленидзе М. Н. Обобщение характеристик плазмотронов с дифференциальной подачей газов. ГПИ. Сварочные процессы в металлургии. Научные труды № 6(276), Тбилиси, 1984 г. с.18-23.
100. Михеев М. А., Михеева И. М. М69 Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотип. М., «Энергия», 1977. 344 с.
101. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С., Теплопередача, издание 4-е перераб. и дополненное, Москва, "Энергоиздат", 1981 г. 415 с.
102. <http://www.geothermalanywhere.com/innovation.html>
103. Машины термического бурения, <http://stroy-technics.ru/article/mashiny-termicheskogo-bureniya>
104. Бергман Э.Д. Покровский Г.Н. Термическое разрушение горных пород плазмобурами. Новосибирск, «Наука», 1971 г. 127 с.
105. Ларин Р.Р. Исследование термического разрушения тешенита и диорита на карьерах Грузии. - Автореф. Дисс. ...канд. Техн. наук. - М., 1967. 16 с.