

დოქტორანტი ღ. ბელენიძე

პლასმური ტექნოლოგიების სამთო საქმეში გამოყენების შესაძლებლობების ანალიზი

სამთო ინდუსტრიის სპეციფიკურობის გამო (დიდი სიმძლავრეები, შეზღუდული გარემო, მუშაობის მძიმე პირობები და ა.შ.), მიუხედავად მეცნიერების დიდი მცდელობისა, პლასმური ტექნოლოგიების გამოყენება აქამდე შეზღუდული იყო. წარმოდგენილი სამუშაოს ძირითადი მიზანია სამთო საქმეში ახალი პლასმური ტექნოლოგიების დამუშავება. მოხსენებაში განხილულია ამ პლასმური ტექნოლოგიების არსი და ამ მიმართულებით საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში და გ. წულუკიძის სამთო ინსტიტუტში შესრულებული სამუშაოები.

1. შესავალი

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

წარმოდგენილი სამუშაოს ძირითადი მიზანია პლასმური ტექნოლოგიებში ახალი მიმართულების – სამთო მრეწველობის პლასმური ტექნოლოგიების დამუშავება. ამ მიზნის განსახორციელებლად გამოვლენილია სამთო საქმეში პლასმური ტექნოლოგიის გამოყენების პერსპექტიული არეები: პლასმური ჭავლის გამოყენება მყარი ქანების მოსანგრევად; პლასმური ჭავლის გამოყენება მყარი ქანებისაგან სამშენებლო მასალების მოსაპირკეთებლად; პლასმური ბურღვა; სამთო მომპოვებელი ინდუსტრიის ნარჩენების გადამუშავება; ლითონების პლასმური ჭრის, შედუღების, დაფრქვევისა და დაღუღების გამოყენება სამთო ამწევი მანქანების, წყალსაქცევი, სავენტრაციო და ტექნოლოგიური დანადგარების წარმოებისა და მათი რემონტისათვის.

პლასმურ დანადგარებში მიმდინარე ელექტროფიზიკური პროცესების ანალიზის საფუძველზე შედგენილია პლასმური 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 პლასმური ჭავლის ფორმირების ხერხები და პლასმური დანადგარების კონსტრუქციები.

ელექტრომაგნიტური პროცესების ანალიზის საფუძველზე ჩამოყალიბებულია პლასმური დანადგარის დენის წყაროს მიმართ წაყენებული ის კრიტერიუმები, რომლებიც განაპირობებენ პლასმატრონის ეფექტურ მუშაობას. პლასმატრონის ეფექტური მუშაობა შესაძლებელია კვების წყაროს დამრეცი სტატიკური ვოლტამპერული მახასიათებლის შემთხვევაში, როდესაც მახასიათებლის დახრის კუთხე უახლოვდება 90⁰-ს, ე. ი. კვების წყარო წარმოადგენს არა ძაბვის წყაროს, არამედ დენის წყაროს, ანუ როდესაც პლასმური 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.

ექსპერიმენტალური 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 ელექტროდების გაცივება წყლით კონვექციური გაცივების თანაბარია.

აგრეთვე ჩატარებულია მყარი ქანის ზედაპირზე პლაზმური ალის 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 გვიხვენებს, რომ ტემპერატურის გავრცელება ქანის მასივში ექვემდებარება ტალღისებრ მოდელს. ამას მიუყვართ 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 ორი მეთოდი, რომლებიც იძლევიან 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 დეროსა და გამაცივებელ დეროს შორის. ამ მეთოდების არსი მდგომარეობს იმაში, რომ გამაცივებელი დეროს ნახვრეტში თავსდება მრავალკომპონენტიანი საკათოდე ფხვნილის ნარევი და მათი კომპაქტირება ხდება აფეთქების ტალღის ან იმპულსური მაგნიტური ტალღის მეშვეობით [6].

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 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[5].

მძლავრი პლაზმური ჭავლის მიღების ხერხი უზრუნველყოფს მძლავრი პლაზმური ჭავლის მიღებას უშუალოდ ერთ პლაზმატრონში, ერთ დერძზე 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 დაწვეილებულ ელექტროდთა რაოდენობა[5].

პლაზმური ბურღვის მეთოდი, რომელიც ითვალისწინებს ბურღის ნაცმის პლაზმით გახურებას. ამ გახურებული ნაცმით ქანის გადნობას და გამდნარ ქანში მისი გადნობისას ფორიანობის შემცირების შედეგად ქანის მოცულობის

შემცირებისა და გამოყოფილი გაზების შეკუმშვის ხარჯზე ნაცმის ჩაღრმავებას ქანში. მაშასადამე გაბურღული მასალის (ჯერ გამდნარი და შემდეგ გაცივებული ქანის) ზედაპირზე ამოტანა საჭირო არ არის და უმრავლეს შემთხვევაში არც სამაგრი მიღების გამოყენებაა აუცილებელი[11].

ელექტროგამტარი სამრეწველო ნარჩენების პლაზმური გადამუშავების მეთოდი.

ჩვენს მიერ დამუშავებულია ისეთი სამრეწველო ნარჩენების პლაზმური გადამუშავების ხერხი, რომლებსაც 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). [2].

დაპროექტებულია, დამზადებულია, გამოცდილია, გამოკვლეულია და დანერგილია 40 კვტ სიმძლავრის არალითონური მასალების დასამუშავებელი პლაზმური დანადგარი, რომელიც განკუთვნილია ქანების მოსანგრევად, მასივიდან ბლოკების მოსაჭრელად, ბლოკების დასაჭრელად, საამუშენებლო მასალების მოსაპირკეთებლად და ასე შემდეგ. ამ დანადგარის თეორიული კვლევის შედეგად 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, 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.

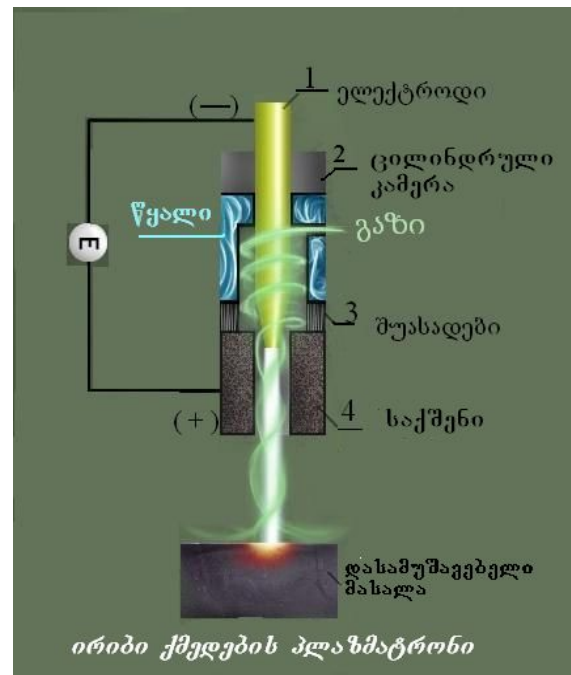
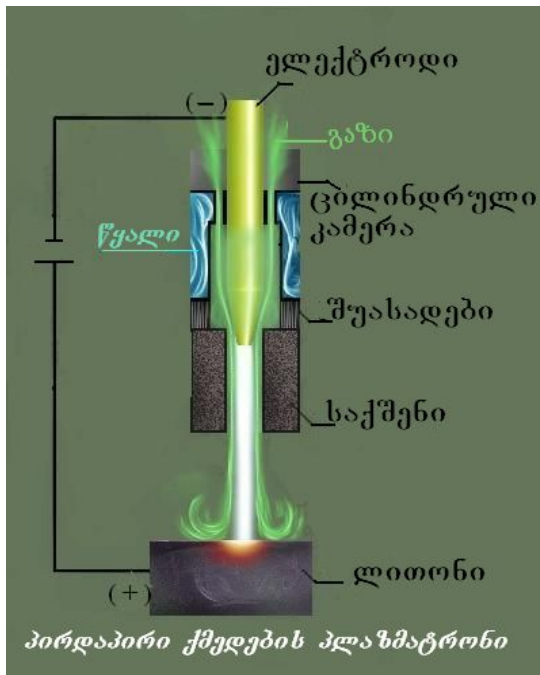
ექსპერიმენტალური მონაცემების მიხედვით მიღებულია ფორმულები, რომლებიც იძლევიან პლაზმატრონის განზოგადებული ვოლტამპერულ, თბური და დაწნევის მახასიათებლებს და განსაზღვრულია პარამეტრების კომბინაცია, რომელთათვისაც ეს ფორმულები სამართლიანია [1-16].

2. ძირითადი ნაწილი

საკმარისად ძლიერი გახურების შემთხვევაში ნებისმიერი ნივთიერება ორთქლდება და გადაიქცევა გაზად. თუ კიდევ უფრო გავზრდით ტემპერატურას, თერმული იონიზაციის პროცესი მკვეთრად გაძლიერდება, ანუ გაზის მოლეკულები დაიწყებენ დაშლას მის შემადგენელ ატომებად, რომლებიც შემდგომ დაიშლებიან იონებად და ელექტრონებად (ელექტრონულად დამუხტულ ნაწილაკებად რომლებიც წარმოიქმნიებიან ატომების მიერ ელექტრონების დაკარგვით ან მიერთებით). ამ შემთხვევაში ნივთიერება გადადის მეოთხე მდგომარეობაში – პლაზმაში.

პლაზმა არის ნივთიერების ისეთი მდგომარეობა, როდესაც ნივთიერება მთლიანად ან მისი უმეტესი ნაწილი დაიონებულია, ე. ი. დაშლილია იონებად და ელექტრონებად.

პლაზმატრონი ეწოდება ხელსაწყოს, რომელშიც პლაზმა მიიღება (იხ. ნახ. 1).



ნახ. 1. ელექტრორკალური პლაზმატრონიის გამარტივებული სქემები

ელექტროდი 1 ღეროს სახით ჩამაგრებულია ცილინდრულ კამერაში 2, რომელიც ბოლოვდება სპილენძის საქშენით. ელექტროდი და საქშენი, როგორც წესი, დამზადებულია სპილენძისაგან და ერთმანთისაგან ელექტრულად იზოლირებულია შუასადებით 3 და ცივდებიან გამდინარე წყლით. პლაზმატრონში ელექტრული რკალი ანთია კათოდსა და ანოდს შორის. პირდაპირი ქმედების პლაზმატრონში კათოდი ელექტროდია, ხოლო ანოდი დასამუშავებელი ელექტროგამტარი მასალა. ელექტრული რკალი აინთება ანოდსა და კათოდს შორის სამუშაო გაზის წნევის ქვეშ, სამუშაო გაზი ჩაეწოდება პლაზმატრონის კამერაში ანოდსა და კათოდს შორის. გაზის ნაწილი გაივლის ელექტრული რკალის მიღში, სადაც ის ხურდება შემდგომ იონიზირდება და გამოედინება საქშენიდან 4 პლაზმური ნაკადის სახით. გაზის გარე ფენა, რომელიც შემოგარავს ელექტრო-რკალურ მილს, რჩება შედარებით ცივ მდგომარეობაში და წარმოქმნის ელექტრულ და თბურ იზოლაციას საქშენსა და პლაზმის ნაკადს შორის და იცავს საქშენს დაზიანებისაგან. ამას გარდა გაზის გარე ფენა ძლიერ აცივებს რკალის მილს, რის გამოც ამ მილის კვეთი მცირდება, ხოლო დენის სიმკვრივე და შესაბამისად ტემპერატურა იზრდება, ამასთან რკალის მილის დიამეტრის შემცირება იწვევს შეკუმშვის მოქმედების გაძლიერებას რკალზე მისივე მაგნიტური ველისაგან ე.ი. პლაზმატრონში თერმული შეკუმშვა იწვევს მაგნიტური შეკუმშვის გაზრდას. რკალის დენის სიმკვრივე პლაზმატრონებში აღწევს 100 ა/მმ^2 -ს. რომელიც რამდენჯერმე აღემატება ჩვეულებრივი რკალის დენის სიმკვრივეს. ტემპერატურა რამდენიმე ათასჯერ აღემატება ჩვეულებრივი რკალის დენის სიმკვრივეს. ტემპერატურა რამდენიმე ათასჯერ აღემატება ჩვეულებრივი რკალის დენის სიმკვრივეს. ეგრეთწოდებულ დიაფრაგმას, რომელიც გაიწოვს პლაზმის ნაკადს. ეს იწვევს რკალის საკუთარი მაგნიტური ველის წნევის ღერძული გრადიენტის შექმნას, რაც იწვევს საქშენიდან პლაზმური ნაკადის გამოდინების სიჩქარის გაზრდას ზებგერით სიჩქარეზე მეტად.

სწრაფად იზრდება პლაზმური ტექნოლოგიების გამოყენება სამთო საქმეში, რადგან პლაზმას გააჩნია მრეწველობის სტანდარტებით საკმაოდ დიდი ტემპერატურა. შესაძლებელია მისი სიმძლავრის ფართო დიაპაზონში რეგულირება და პლაზმური ნაკადის მიმართვა დასამუშავებელ მასალაზე. ამასთან პლაზმური დამუშავება მიიღწევა როგორც თბური ისე პლაზმის მექანიკური ზემოქმედებით (ხდება დასამუშავებელი მასალის ბომბარდირება პლაზმის ნაწილაკებით, რომლებიც მოძრაობენ დიდი სიჩქარით). კუთრი სიმძლავრე რომელიც გადაეცემა დასამუშავებელ მასალას პლაზმური რკალით აღწევს 10^5-10^6 ვტ/სმ², ხოლო პლაზმური ნაკადით - $10^3 - 10^4$ ვტ/სმ². აგრეთვე შესაძლებელია თბური ნაკადის განწვერტება (გაშლა), რითაც მიიღწევა ზედაპირის ე. წ. “რბილი” და თანაბარი გახურება.

პლაზმური დამუშავება მოიცავს შემდეგ ტექნოლოგიებს: სხვადასხვა თვისების მქონე მასალების გამყოფ და ზედაპირულ ჭრას; ზედაპირის დაფარვას; დადუღებას; შედუღებას; სამთო ქანების მონგრევას და ბურღვას.

სამთო საქმე ფართო გაგებით მოიცავს ყველა ზემოთ ჩამოთვლილ პლაზმურ ტექნოლოგიებს.

საშახტო ამწევი მანქანები, წყალამოსადგრელი, სავენტილაციო და ტექნოლოგიური დანადგარები დიდი ზომა-წონის ლითონის კონსტრუქციებისაგან მზადდება ამიტომ პლაზმის ჭავლის გამოყენება, მისი ზემოთ აღნიშნული თვისებების გამო, მათი ჭრისთვის და შედუღებისათვის ძალზე ეფექტურია. ლითონების ჭრა და შედუღება ძირითადად ხორციელდება პირდაპირი ქმედების პლაზმატრონით, სადაც შეკუმშული პლაზმური რკალი ანთია ელექტროდსა და დასამუშავებელ ლითონს შორის, ხოლო პლაზმის წარმომქმნელ გაზად გამოიყენება **Ar, N₂, H₂, NH₄** და მათი ნარეგები. ჭრის ინტენსიფიკაციისათვის იყენებენ ე. წ. ჰაერის პლაზმას, რადგან უანგბადი ინტენსიურად უანგავს ლითონს, რაც წარმოადგენს დამატებით ენერგეტიკულ ეფექტს ჭრის პროცესში. პლაზმური რკალით ადუღებენ და ჭრიან უჟანგავ და ფერად ლითონებს და მათ შენადნობებს, რომლებიც არ ექვემდებარებიან აცეტილენ-ჟანგბადის საჭრისით ჭრას. ელექტროგაუმტარი მასალების (ბეტონი, გრანიტი, ბაზალტი და სხვა) ჭრისთვის გამოიყენება ირიბი ქმედების პლაზმატრონები.

პლაზმური ჭრის პლაზმატრონების სიმძლავრეა - 5-30 კვტ, გასაჭრელი მასალების სისქე კი 1 მმ – 50 მმ.

დაფრქვევის და დადუღების გამოყენება საშახტო ამწევი მანქანების, წყალსაქცევი, სავენტილაციო და ტექნოლოგიური დანადგარების წარმოებისა და რემონტისათვის.

როგორც ცნობილია, ამ მანქანა-დანადგარების ზოგიერთი დეტალები განიცდიან ინტენსიურ მექანიკურ, ჰიდროაბრაზიულ და სხვადასხვა სახის ზემოქმედებას, ამიტომ მათი ზედაპირების დაფარვა ხდება ცვეთამედევი, კოროზიამედევი და მხურვალმედევი ნივთიერებებით (შენადნობებით). დასაფარი მასალები ფხვნილის ან მავთულის სახით მიეწოდება პლაზმურ ნაკადში, სადაც ის დნება, გაიფრქვევა, დებულობს ~ 100—200 მ/წმ სიჩქარეს და წვრილი ნაწილაკების (20—100 მკ) სახით დაიტანება დეტალის ზედაპირზე.

პლაზმური დაფარვის მეთოდის დადებითი თვისებები სხვა მეთოდებით (გალვანური, აცეტილენ-ჟანგბადის ალით, ვაკუუმური წესწებით და ა. შ.) დაფარვასთან შედარებით მდგომარეობს შემდეგში:

- პლაზმური ნაკადის მაღალი ტემპერატურა იძლევა ნებისმიერი თბომედევი მასალის გადნობისა და დეტალზე დატანის საშუალებას;

- პლაზმური ნაკადის სითბური სიმძლავრის რეგულირება იძლევა როგორც ძნელდნობადი, ასევე ადვილდნობადი მასალების დაფრქვევის საშუალებას;
- პლაზმური ნაკადი იძლევა სხვადასხვა მასალების შედნობისა და დეტალზე დატანის საშუალებას, აგრეთვე დეტალზე სხვადასხვა მასალების შენადნობების მრავალი შრის დატანის საშუალებას. ამით შესაძლებელი ხდება სხვადასხვა დამცავი თვისებების მრავალი შრის დატანა დეტალზე;
- შესაძლებელია ნებისმიერი გეომეტრიული ფორმის და სიგრძის დეტალის დაფარვა.

დაფრქვევისა და დადუღებისათვის გამოიყენება 20-100 კვტ სიმძლავრის პლაზმატრონები წარმადობით 130-200 სმ²/წთ.



ნახ. 2. პლაზმური ჭავლის გამოყენება ბურღსატეხის აღსადგენად

პლაზმური ბურღის მოქმედების პრინციპი მდგომარეობს შემდეგში: შეკუმშული ჰაერი პლაზმურ ბურღში მიეწოდება ღრუ შტანგით, სადაც ის იყოფა ორ ნაწილად. ერთი ნაწილი შედის რკალის მოქმედების არეში, ქმნის პლაზმურ ჭავლს და ზემოქმედებს ქანზე. მეორე უფრო დიდი ნაწილი აცივებს ელექტროდებს, გამოდის გარეთ და გამოაქვს აფშენილი მასალა.

პლაზმური ბურღვა და მონგრევა სხვაზე მეტად ეფექტურია მაგარი ქანების შემთხვევაში (გრანიტები, დიორიტები, პორფირიტები, ტეშენიტები, კვარციტები და ა. შ.).

პლაზმატრონით ბურღვის სიჩქარე გრანიტდიორიტებში შეადგენს 4,5 მ/სთ (ჭაბურღილის დიამეტრი 130 მმ, პლაზმატრონის სიმძლავრე 100 კვტ), ხოლო რკინიან კვარციტებში შპურის ბურღვის სიჩქარე შეადგენს 10-25 მ/სთ (შპურის დიამეტრი 50 მმ, პლაზმატრონის სიმძლავრე 80-100 კვტ). პლაზმური მორღვევა მაგარი ქანების შემთხვევაში მიიღწევა არა მოდნობით, არამედ თერმული დაძაბულობის გზით. ქანის ზედაპირი სწრაფად ხურდება, ტემპერატურა ვერ ასწრებს გავრცელებას სიღრმეში, ამიტომ წარმოიქმნება თერმული დაძაბულობა ქანში და იწყება ქანის აფშენა (აფშენით ჭრა).

ბურღვის სიჩქარე პლაზმატრონის სიმძლავრის პირდაპირპროპორციულია.

პლაზმური ბურღვა გამოიყენება ჭაბურღილებისა და შპურების გასაყვანად, მათ გასაფართოვებლად, დიდგაბარიტიანი ლოდების დასაქუცმაცებლად, სამშენებლო

ქვების მოსაპოვებლად და დასამუშავებლად, ბეტონების დასაჭრელად და დასამუშავებლად.

სამთო ქანების დასამუშავებელ პლაზმატრონებს უნდა გააჩნდეს 70-1000 კვტ სიმძლავრე. ამის დასამტკიცებლად განვიხილოთ პლაზმური დამუშავების ენერჯის ბალანსი ნებისმიერი პლაზმური პროცესისათვის.

ენერჯიების ბალანსის განტოლებას აქვს სახე

$$\eta W_3 = W_g + W_{\text{დ}},$$

სადაც W_3 არის პლაზმატრონში გამოყოფილი ენერჯია;

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

W_g – მასალის გახურებაზე წასული ენერჯია;

$$W_g = c M (t_{\text{დ}} - t_0) T,$$

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

$$W_{\text{დ}} = q_{\text{დ}} M,$$

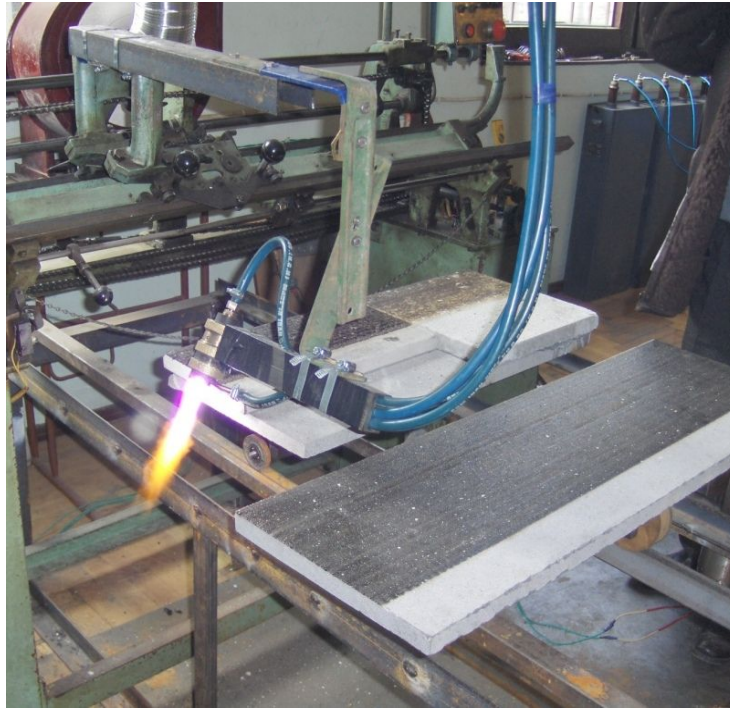
η - პროცესის მარგი ქმედების კოეფიციენტი ($\eta=0.5-0.7$); M – დამუშავებული მასალის მასა, კგ; C – მასალის კუთრი სითბოტევადობა, ჯ/გრ.კგ; t_0 - მასალის საწყისი ტემპერატურა, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{დ}}$ - მასალის დნობის ტემპერატურა, $^{\circ}\text{C}$; $q_{\text{დ}}$ - მასალის დნობის სითბო, ჯ; t – პლაზმატრონის მოქმედების დრო, წმ; T – მასალის გახურებაზე წასული დრო, წმ;

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

იაფ გაზზე ხანგრძლივად მომუშავე ასეთი სიმძლავრის პლაზმატრონები ჯერ არ არსებობს. მიუხედავად ამისა, პლაზმურ ბურღვაზე მუშაობა დაიწყო ჯერ კიდევ 60-იან წლებში (ამის მაგალითია ამერიკული პატენტი [18], რომელიც დაპატენტებულია 1969 წელს) და ინტენსიურად მიმდინარეობს დღემდე, რომლის მაგალითია ამერიკული პატენტი [19], რომელიც დაპატენტებულია 2007 წელს). ამიტომაც ჩვენი მიზანია მძლავრი პლაზმატრონების შექმნა.

პლაზმური ჭავლის გამოყენება მყარი ქანებისაგან სამშენებლო მასალების მოსაპირკეთებლად.

ბოლო პერიოდში ფართოდ ვითარდება პლაზმის გამოყენება ვულკანური წარმოშობის მყარი ქანებისაგან დამზადებული საშენ მასალების მოპირკეთებისათვის მისი ზედაპირის მოდნობის გზით. მაგალითად ბაზალტის ზედაპირის მოდნობის შემთხვევაში იგი იღებს შავ ფერს, მიღებული ზედაპირი მომინანქრებულია და ეროზიამდგრადია. სურათზე ნაჩვენებია ჩვენს მიერ შექმნილი ბაზალტის ფილების ზედაპირების დასამუშავებელი პლაზმური დანადგარი



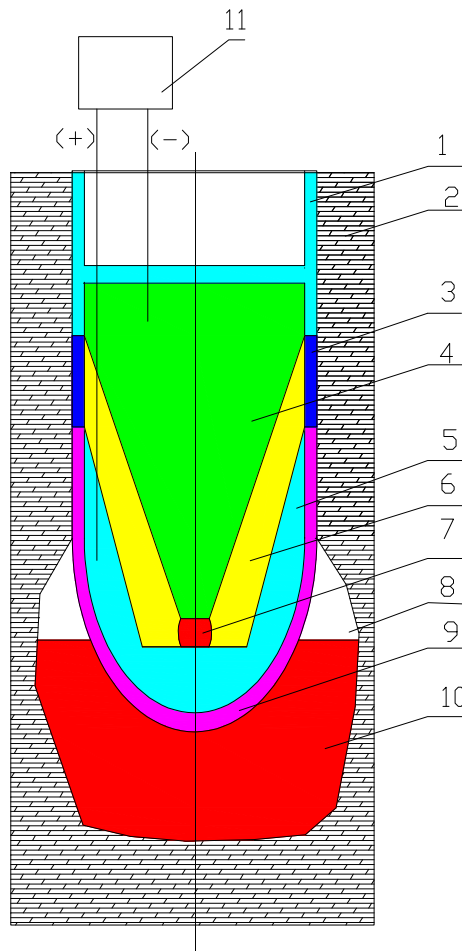
ნახ. 3. ბაზალტის ფილების ზედაპირების დასამუშავებელი პლაზმური დანადგარი

პლაზმატრონის დენი გადის პლაზმატრონის კათოდში და ანოდში, რომელთაც აქვთ დენის ზღვრული დასაშვები სიდიდე. აქედან გამომდინარე აქამდე არსებულ 50 კვტ-ის და მეტი სიმძლავრის პლაზმატრონებს გააჩნიათ დაბალი სამუშაო რესურსი.

ჩვენი მიზანი იყო:

- სამთო საქმეში პლაზმური ტექნოლოგიების გამოყენებისათვის შესაბამისი მძლავრი პლაზმური ჭავლის ფორმირების ხერხების შექმნა;
- სამთო ქანებისა და ტექნოლოგიური დანადგარების დეტალების დასამუშავებელი მძლავრი, დიდი სამუშაო რესურსის მქონე, ენერგოდამზოგი და ეკოლოგიურად უსაფრთხო პლაზმური დანადგარის დამუშავება.

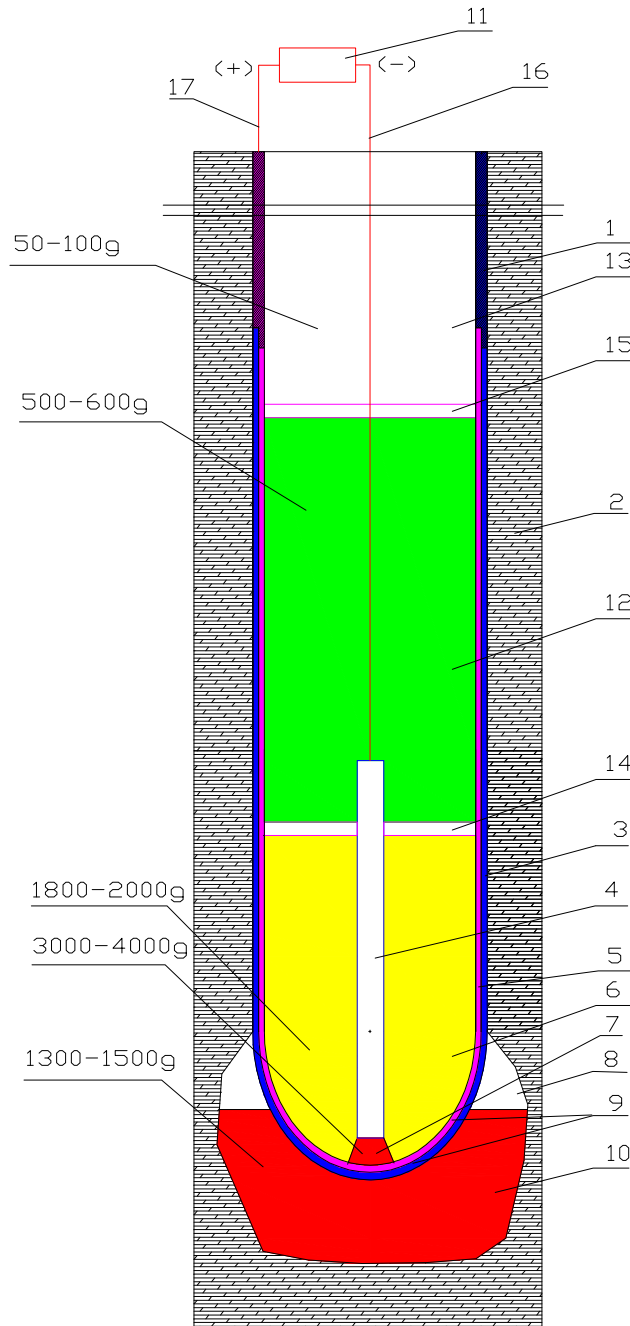
შესაბამისად ჩვენს მიერ დამუშავდა რამდენიმე ხერხი მძლავრი პლაზმური ჭავლის მისაღებად [1-17]. ჩვენს მიერ აგრეთვე დამუშავებულია **პლაზმური ბურღვის ახალი მეთოდი**, რომელიც უზრუნველფყოფს ბურღის ნაცმის ჩადრმაგებას ქანში ქანის ზედაპირზე გამოტანის გარეშე [11]. ამით მარტივდება ჭაბურღილის გაყვანა და იზრდება ბურღვის სიჩქარე. მე-4 ნახაზზე მოცემულია შემოთავაზებული პლაზმური ბურღვის მეთოდის განხორციელების სქემა, როდესაც პლაზმური ბურღის ანოდი და კათოდი იზოლირებულია ქანისაგან.



ნახ. 4. პლავზური ბურღვის მეთოდის განხორციელების სქემა, როდესაც პლავზური ბურღვის ანოდი და კათოდი იზოლირებულია ქანისაგან: 1- მილი; 2- ქანი; 3- იზოლაციური; 4- კათოდი; 5- ანოდი; 6- პლავზა; 7- რკალი; 8- შეკუმშული გაზის ბალიში; 9- ნაცმი; 10- გამდნარი ქანი; 11- დენის წყარო.

მილზე 1 წამოცმულია იზოლაციური 3, კათოდი 4 და ნაცმი 9, რომელიც ჩაწოდება 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 ასურებს კათოდსა 4 და ანოდს 5 შორის მოთავსებულ გაზს მაღალ ტემპერატურამდე და წარმოქმნის პლავზას 6. პლავზა 6 ასურებს 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 ბურღვის) გადაადგილება ხდება მანამ, სანამ დენის წყარო 11 -დან რკალს 7 მიეწოდება იმდენი ენერგია, რომ შეკუმშული გაზის 8 წნევა ქანის ახალ-ახალი გამდნარი მასიდან გამოყოფილი სივრციდან, იქნება ნაკლები ნაცმზე 9 მილის 1 დაწოლით გამოწვეული წნევაზე. ამით უზრუნველყოფილია ბურღვის გადაადგილება ქანში ისე, რომ არ მოხდეს ნაბურღი ქანის ამოტინა ზედაპირზე.

მე-5 ნახაზზე მოცემულია შემოთავაზებული პლაზმური ბურღვის მეთოდის განხორციელების სქემა, როდესაც ქანისაგან იზოლირებულია მხოლოდ პლაზმური ბურღვის კათოდი.



ნახ. 5. პლაზმური ბურღვის მეთოდის განხორციელების სქემა, როდესაც პლაზმური ბურღვის 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; 12- ბუფერული არე; 13- დაბალი ტემპერატურების არე; 14 და 15- შამოტის იზოლატორები; 16 და 17- დენგამტარები.

მილზე 1 დამაგრებულია ნაცმი 9, რომელიც შედგება ტემპერატურამდეგი ანოდისა 5 და ქიმიურად, ტემპერატურულად და მექანიკურად მედეგი 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 იკეებება 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 წყაროდან 11 რკალს 7 მიეწოდება იმდენი ენერჯია, რომ შეკუმშული გაზის 8 წნევა ქანიდან 1 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 ამოტანა ზედაპირზე.

შემოთავაზებული პლაზმური ბურღვის ხერხის განხორციელების ერთ-ერთი ვარიანტი, როდესაც პლაზმური ბურღის ანოდი და კათოდი იზოლირებულია ქანისაგან, ასეთია (იხ. ნახ. 4):

ტემპერატურამდეგი ფოლადის მილი 1, შამოტის იზოლატორი 3, ვოლფრამის კათოდი 4 და ვოლფრამის ანოდი 5 და ნაცმით 9 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 სიმძიმის ძალის გავლენით ხდება ნაცმის 9 ჩაძირვა გამდნარ ქანში 10. გამდნარი ქანის მინიმალური მოცულება 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.

შემოთავაზებული პლაზმური ბურღვის ხერხის განხორციელების ერთერთი მეორე ვარიანტი, როდესაც ქანისაგან იზოლირებულია მხოლოდ პლაზმური ბურღის კათოდი. ასეთია (იხ. ნახ. 5):

ფოლადის 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 აიწყობა 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 12 (ტემპერატურა 500°C – დან 600°C – მდე), ვოლფრამის ქიმიური რღვევა უკვე არ მიმდინარეობს. დაბალი ტემპერატურების არეს 13 (ტემპერატურა 50°C – დან 100°C – მდე), კავშირი ქვს ატმოსფეროსთან და მასში შესაძლებელია კომუნიკაციების

განლაგება 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 კათოდსა 4 და ანოდს 5 შორის მოთავსებულ გაზს მაღალ ტემპერატურამდე და წარმოქმნის პლაზმას 6. პლაზმა 6 ახურებს მაღალ ტემპერატურამდე ნაცმს 9, რომელიც აღნობს ქანს 1. გამდნარი ქანში 10 ხდება ფორების შექმნა და გაზის გამოყოფა, რის შედეგადაც ხდება ქანის მოცულობის შემცირება და შეკუმშული გაზის 8 ბალიშის წარმოშობა. მილის 2 სიმძიმის 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.

შემოთავაზებული პლაზმური ბურღვის მეთოდის 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 მეთოდისათვის.

გაანგარიშებისათვის მოცემულად მიღებულია შემდეგი პარამეტრები: v – ბურღვის სიჩქარე, მ/წმ; D – ბურღის გარე დიამეტრი, მ; C – ქანის სითბოტევადობის კოეფიციენტი, კალ/კგ. $^{\circ}$ C ; q - ქანის დნობის სითბო, კალ/კგ; F_0 – ქანის ფორიანობის კოეფიციენტი; F_e – ქანის ფორიანობის კოეფიციენტი ბურღის გავლის შემდეგ; T_0 – ქანის ტემპერატურა ბურღვის დაწყებისას, $^{\circ}$ C ; T - ქანის დნობის ტემპერატურა, $^{\circ}$ C ; g - ქანის სიმკვრივე, კგ/მ 3 ; K_1 – ბურღვის თბური მარგი ქმედების კოეფიციენტი; K_2 - ბურღვის ელექტრული მარგი ქმედების კოეფიციენტი.

ბურღვის მოხმარებული ელექტრული სიმძლავრე იანგარიშება ფორმულით

$$W = 4.19Q / K_1 K_2 t, \tag{1}$$

სადაც W არის ბურღის მოხმარებული ელექტრული სიმძლავრე, ვატი;

Q - ბურღის მიერ მოხმარებული სითბოს რაოდენობა, კალ.

ბურღის მიერ მოხმარებული სითბოს რაოდენობა

$$Q = Cm(T - T_0) + qm, \tag{2}$$

სადაც m არის გამდნარი ქანის მასა, კგ;

$$m = 3.14gD^2vt/4(F_0 - F_e), \tag{3}$$

სადაც t არის ბურღვის დრო, წმ.

(1), (2) და (3) – დან ვლედულობთ პლაზმური ბურღის მიერ მოხმარებული ელექტრული სიმძლავრის საანგარიშო ფორმულას

$$W = 3.3gvD^2[C(T - T_0) + q] / K_1 K_2(F_0 - F_e). \tag{4}$$

ლიტერატურა

1. დ. გელენიძე და სხვები. მძლავრი პლაზმური ჭკავლის მიღების ხერხი. ჟურნალი “ენერჯია”, №2(50)-1, თბილისი, 2009. გვ. 55-60.
2. Gelenidze D.M. Development of Plasma Torches for Recycling Hazardous Industrial and Military Wastes. The 20th International Conference on Solid Waste Technology and

- Management, Philadelphia, PA, U.S.A. , April 3 - 6, 2005, web site: www.widener.edu/solid.waste.
3. Gelenidze D.M. and etc. Estimation of Wear of Slurry Pumps Detailes Restored by Means of Plasma Processing Method, 12th International Conference on Transport & Sedimentation of Solid Particles, September 20 – 24, 2004, Prague, Czech Republic, <http://www.ih.cz/conf.htm>
 4. Gelenidze D. M. and etc. Plasmatron for Pipe Cutting, Welding and Facing by Plasma Multi-Component Stream in Field Conditions. Mining Journal, №1 (8), Tbilisi, 2002. pp. 44-47.
 5. დ. გელენიძე და სხვები. პლაზმური ჭავლის გაძლიერების ხერხი. საქართველოს პატენტი GE P 2006 4010 B. საქპატენტის ბიულეტენი №24, 2006.
 6. დ. გელენიძე და სხვები. პლაზმატრონის დამზადების ხერხი. საქართველოს პატენტი GE P 2008 4440 B. საქპატენტის ბიულეტენი №14, 2008.
 7. დ. გელენიძე და სხვები. პლაზმური ჭავლის აჩქარების მეთოდი. საქართველოს პატენტი GE P 2008 4350 B. საქპატენტის ბიულეტენი №7, 2008.
 8. დ. გელენიძე და სხვები. ზემდგომი პლაზმური წარმონაქმნის მიღების ხერხი. საქართველოს პატენტი GE P 2010 4945 B. საქპატენტის ბიულეტენი №7, 2010.
 9. დ. გელენიძე და სხვები. ელექტრული ენერჯის გადაცემის ხერხი. საქართველოს პატენტი GE P 2010 4944 B. საქპატენტის ბიულეტენი №7, 2010.
 10. დ. გელენიძე და სხვები. მძლავრი პლაზმური ჭავლის მიღების ხერხი. საქართველოს პატენტი GE P 2010 4948 B. საქპატენტის ბიულეტენი №7, 2010.
 11. დ. გელენიძე და სხვები. პლაზმური ბურღვის ხერხი. წინასწარი დადებითი გადაწყვეტილება პატენტის გაცემის შესახებ, AP 2009 0119478.
 12. დ. გელენიძე და სხვები. მართკუთხა მახასიათებლიანი დენის წყარო. წინ. დად. გადაწყვეტილება პატენტის გაცემის შესახებ, AP 2009 011357.
 13. Gelenidze D.M., Gogia G. K., Marquis F.D.S., Gelenidze M.N. Two new ways of formation of the plasma jet for processing rocks. Journal “Energy“, #1(45), Tbilisi, 2008. pp.27-31.
 14. Батхадзе З.Г., Гогия Г.К., Геленидзе Д.М., Батхадзе Л.Г. Исследование характера потери тепловой мощности через стенки водоохлаждаемого цилиндрического анода в плазматроне косвенного действия. Журнал “Энергия”, №1(45), Тбилиси, 2008. с.32-38.
 15. დ. გელენიძე და სხვები. პლაზმური დანადგარების დამუშავება სამთო სამუშაოების წარმოებისათვის. სამთო ჟურნალი, №1-2(20-21), თბილისი, 2009. გვ. 30-35.
 16. დ. გელენიძე, გ. გოგია. პლაზმური დანადგარის დამუშავება საშიში მრეწველობის და სამხედრო ნარჩენების გადამამუშავებლად. საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია “ახალი ტექნოლოგიები თანამედროვე მრეწველობაში”. თბილისი, 29-30 აპრილი, 2010.
 17. Batkhadze Z.G., Gelenidze D.M., Marquis F.D.S., Mostaghimi J., Gelenidze M.N., Chankvetadze Z.I. Plasma Facility for Basalt Filaments Production. Materials Science and Technology (MS&T), Detroit, Michigan, USA, September, 2008.
 18. United States Patent #3467206, Plasma Drilling, 1969.
 19. United States Patent #7270195, Plasma Channel Drilling Process, 2007.

GELÉNIDZE D.

THE ANALYSIS OF POSSIBILITIES OF PLASMA TECHNOLOGIES APPLICATION IN MINING

Because of specificity of the mining industry (the big capacities, the limited space, heavy working conditions, etc) application of the plasma technologies in mining is complicated and applied seldom. The purpose of this work is creation of a new direction-working of the bases of the plasma technology in the mining industry. In article an essence of plasma technology and the executed works (at the Georgian Technical University and Mining Institute of Georgia) are described.

ГЕЛЕНИДЗЕ Д. М.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

Из-за специфичности горнодобывающей индустрии (большие мощности, ограниченное пространство, тяжелые условия труда и т. д.) применение плазменных технологии в горном деле затруднено и до настоящего времени применяется редко. Статье рассмотрены плазматроны, разработанные в Горном институте Г. А. Цулукидзе и Грузинском техническом университете для новых плазменных технологий в горной и горнорудной промышленности с целью резки, сварки, восстановления изношенных поверхностей металических конструкций, а также их принципиальные схемы их конструктивного выполнения; описаны принципы работы; определены области использования.