

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
მანქანათმშენებლობის ტექნოლოგიის მიმართულება

დეტალების დამუშავების ელექტროფიზიკური და
ელექტროქიმიური მეთოდები

/ ლაბორატორიული სამუშაოები /

პროფ. ე. სემილეტოვა, პროფ. ნ. ბაქრაძე,
პროფ. ნ. მენტეშაშვილი, ინჟ. რ. კასუმოვი

თბილისი 2009 წ

დამხმარე სახელმძღვანელო განკუთვნილია მანქანათმშენებლობის ტექნოლოგიის ყველა სპეციალობის სტუდენტებისათვის, რომლებიც მუშაობენ წარმოდგენილ საკითხებზე.

სახელმძღვანელოში მოცემული სასწავლო ლაბორატორიული სამუშაოების აღწერა მოიცავს ელექტროფიზიკური და ელექტროქიმიური დამუშავების მეთოდებს და დანიშნულია მაგისტრატურის სტუდენტებისათვის.

სახელმძღვანელო შედგენილია ავტორთა მიერ, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის “მანქანათმშენებლობის ტექნოლოგიის” კათედრაზე, მრავალი წლების მანძილზე სტუდენტებთან მუშაობის გამოცდილების საფუძველზე და სილაბუსის შესაბამისად.

რეცენზენტები: ასოც. პროფ. მ. შვანგირაძე.

ლაბორატორიული სამუშაო 1

გაჭუჭყიანებული დეტალების ულტრაბგერითი გაწმენდა

1. ლაბორატორიული სამუშაოს მიზანი

ულტრაბგერითი დანადგარის მუშაობის პრინციპის გაცნობა და გაჭუჭყიანებული დეტალების გაწმენდის ტექნოლოგიის პრაქტიკული ათვისება.

2. ძირითადი ცნებები

ულტრაბგერითი გაწმენდის პროცესი არის ულტრაბგერითი რხევების და ქიმიურად აქტიური თხევადი გარემოს ერთდროული ზემოქმედება ჭუჭყიან დეტალებზე.

ულტრაბგერითი გაწმენდის პროცესი მოიცავს: კავიტაციას, ღიდ აჩქარებას გამწმენდ გარემოში, ადგილობრივ ჰიდროდინამიკურ ნაკადებს, სითბურ ეფექტებს და სხვა მოვლენებს.

თხევადი გარემოს შემადგენლობა შეირჩევა დასამუშავებელი დეტალების მასალის, გაჭუჭყიანების ხარისხის და სახეობის მიხედვით. თხევადი გარემოს მისაღებად გამოიყენება ტუტეების, მჟავების და მარილების წყალხსნარები, განსაზღვრული ტემპერატურული რეჟიმების დაცვით.

გაწმენდის პროცესში უმნიშვნელოვანეს როლს ასრულებს კავიტაცია ანუ სითხეში ადგილობრივი წნევის შემცირების დროს წარმოქმნილი აირის ან ორთქლის ბურთულოვანი და კავერნული შრეები, რომლებიც მაღალი წნევის გარემოში გადასვლისას სკდებიან და ლოკალურ უბნებში წარმოქმნიან დამანგრეველი დარტყმის ტალღას დაახლოებით 200 გპა წნევით. გაუმსკლარი კავიტაციური ბუშტულები აღწევენ დეტალის ზედაპირსა და გაჭუჭყიანების ფენას შორის არსებულ ნაპრალებში, თვით გაჭუჭყიანების ბზარებში და ინტენსიური რხევითი მოძრაობით შლიან ჭუჭყს. რომელიც გადადის შეტივტივებულ მდგომარეობაში და იხსნება გამწმენდ გარემოში.

გამოვლენილია გაჭუჭყიანების დაშლის ნაირსახეობა: შრეობრივი, ემულსიური, ეროზიული, ჰიდროაბრაზიული დაშლა და გახსნა.

ულტრაბგერითი გაწმენდის ტიპური ტექნოლოგია შეიცავს როგორც საკუთრივ გარეცხვას, ასევე დეტალის ზედაპირის პასიურ მდგომარეობაში გადაყვანისა და გაშრობის პროცესებს.

ზედაპირის პასიურ მდგომარეობაში გადაყვანა ხორციელდება მისთვის კოროზიამდეგობის მინიჭების მიზნით. ამისათვის ნაკეთობას ამუშავებენ დამჟანგავი

ხსნარებით (ქრომატებით და ნიტრატებით) რაც უზრუნველყოფს ზედაპირის თხელი დამცავი ფენით დაფარვას.

გაჭუჭყიანება შეიძლება იყოს არაორგანული (მექანიკური ნაწილაკები, კოროზიის პროდუქტები, მარილი და ა.შ) და ორგანული (ზეთი, ცხიმი, ლაქი, საღებავი, საპონი მასალა, ემულსია, წებო და ა.შ)

დეტალის ჭუჭყი და სარეცხი საშუალებები ერთმანეთის მიმართ არის ხსნადი (მაგ. ცხიმები-ორგანული გამხსნელები) და უხსნადი (ზეთი –წყალი). დანიშნულების მიხედვით ტექნოლოგიური სითხეები იყოფა სარეცხ საშუალებებად და დამატებითი დამუშავების სითხეებად.

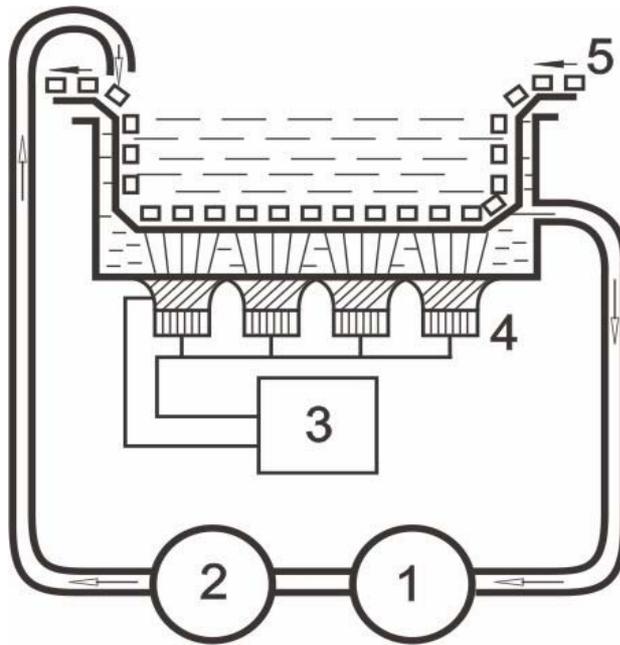
ულტრაბგერითი გაწმენდის მეთოდი ფართოდ გამოიყენება მრეწველობის ყველა დარგში და სარემონტო წარმოებაში.

3. ულტრაბგერითი გაწმენდის დანადგარი

ნახ. 1.1 მოცემულია დეტალების გამწმენდი ერთერთი ულტრაბგერითი დანადგარის სქემა, რომელიც აღჭურვილია: რეზერვუარით, რხევების წარმომქმნელი დიაფრაგმიანი გარდამქმნელით - 4, რეზერვუარში დეტალების ტრანსპორტირებადი ჯაჭვიანი მექანიზ-მით -5 და გამწმენდი ხსნარის გამფილტრავი მოწყობილობით: რომელიც შედგება

1- ტუმბოსა და 2- ფილტრისაგან.

გასუფთავებული ხსნარი ბრუნდება უკან ავზში გასუფთავებული დეტალების შემხვედრი დინებით. ზოგჯერ აუცილებელია მრავალკამერიანი ავზის გამოყენება: საწყისი, შუალედური და საბოლოო დასუფთავებით.



ნახ. 1.1. ულტრაბგერითი გაწმენდის დანადგარის სქემა: 1- ტუმბო, 2- ფილტრი, 3- გენერატორი, 4- გარდამქნელი, 5- ჯაჭვიანი ტრანსპორტიორი.

4. ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების მიმდევრობა

1. ულტრაბგერითი დანადგარის მუშა პროცესის გაცნობა და სქემის შედგენა.
2. დასამუშავებელი დეტალების გაჭუჭყიანების სახეობის განსაზღვრა.
3. დეტალის გაწმენდის კონკრეტული პროცესის განსაზღვრა, გამწმენდი ხსნარის ქიმიური შემადგენლობის და ოპტიმალური პირობების შერჩევა.
4. საკონტროლო დროის ინტერვალის დადგენა.
5. გაჭუჭყიანებული დეტალის გაწმენდა ულტრაბგერით დანადგარზე.
6. გაწმენდის დროის დადგენა.
7. დაკვირვებათა ცხრილის შევსება.

დეტალის №	დეტალის ზომა, მმ	გაწმენდის დრო, t წთ

8. გრაფიკის აგება



9. შედეგების ანალიზი და დასკვნა.

10. ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიშის გაფორმება.

ლაბორატორიული სამუშაო № 2

დეტალის ზედაპირების ელექტროეროზიული განმტკიცება

1. ლაბორატორიული სამუშაოს მიზანი

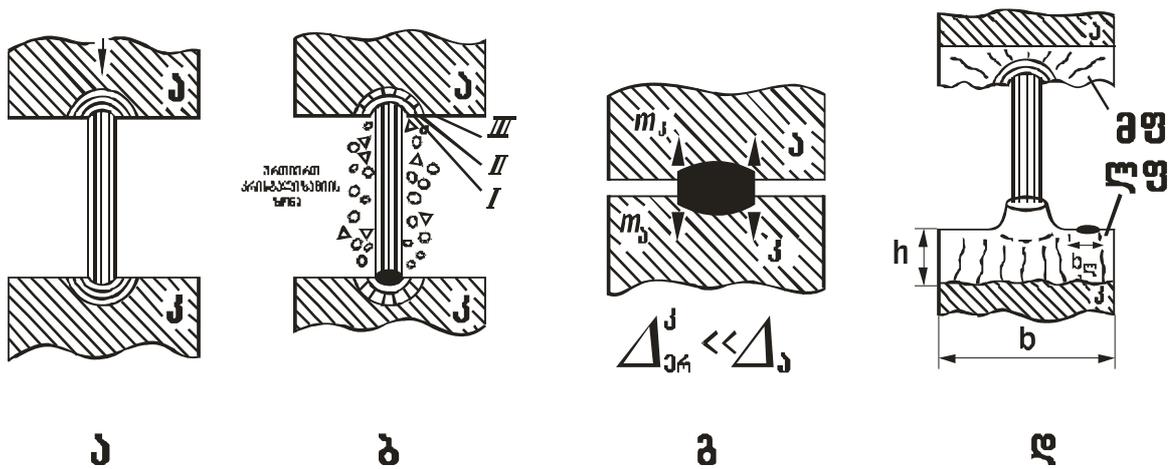
დეტალის ზედაპირის ელექტროეროზიული განმტკიცების ტექნოლოგიის პრაქტიკული
გაცნობა და ათვისება

2. ძირითადი ცნებები

დამუშავების ელექტროეროზიულ მეთოდებს საფუძვლად უდევს ლითონების და სხვა გამტარების ელექტრული ეროზია, რომლებშიც ელექტრული განმუხტვები განაპირობებს ნამზადში ფორმის, ზომის, ზედაპირის სიმქისის და სხვა თვისებების ცვლილებებს.

ელექტროეროზიულ განმტკიცებას საფუძვლად უდევს ელექტროეროზიული იმპულსური განმუხტვა ორი ზედაპირს შორის, ეს ლითონის ზედაპირზე იწვევს სითბურ და მექანიკურ ზემოქმედებას, რის შედეგადაც იცვლება ზედაპირული ფენის ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებები. ამ პროცესში დასამუშავებელი ნამზადი გამოიყენება კათოდად და იარაღი ანოდად. განმუხტვის პროცესში, დეტალის და იარაღის ზედაპირზე, წარმოქმნება ეროზიული ფოსოები (ნახ.2.1) და გამართული პულსირებული დენის გავლენით ხორციელდება ანოდიდან ლითონური ნაწილაკების გადატანა კათოდზე – ე.ი. ნამზადის ლევირება. წარმოქმნილი, განმტკიცებული ცვეთამდეგი ფენა, ხასიათდება გაზრდილი მიკროსისალით (1000 2000 კგ/მმ²). ნახ. 2.1 – წარმოდგენილია ელექტროეროზიული განმტკიცების განზოგადოებული მოდელი: ა–ელექტრო-ეროზიული განმუხტვა; ბ–ელექტროდებზე ერიზიული ფოსოების წარმოქმნა; გ–ელექტროდების კონტაქტი, რომელსაც თან ერთვის შეჭიდულობისა და მასის გადატანის პროცესი; დ–ანოდიდან ამომდნარი და კათოდზე ლრვირებული ფენის ჩამოყალიბება.

ელექტროეროზიული განმტკიცება ზრდის დეტალის ზედაპირის თვისებებს: ცვეთის, კოროზიის და მხურვამტკიცე მედეგობისა და სხვა ფიზიკურ-მექანიკურ მახასიათებლებს. განმტკიცების ამ მეთოდმა გამოიყენება ჰპოვა საიარაღო მრეწველობაში: იარაღების, შტამპების და სამარჯვების მუშა ზედაპირების ცვეთამდეგობის ასამაღლებლად, ელექტრომრეწველობაში კეთილშობილი ლითონებით ლოკალურად დამუშავებაში და სხვა.



ნახ. 2.1 ელექტროეროზიული განმტკიცების განზოგადოებული მოდელი.

ა – ელექტრო-ეროზიული განმუხტვა;

ბ – ელექტროდებზე ერიზიული ფოსოების წარმოქმნა;

გ – ელექტროდების კონტაქტი;

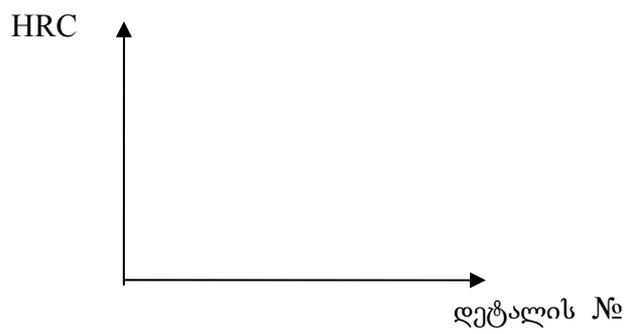
დ – ლეგირებული ფენის ჩამოყალიბება.

3. ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების მიმდევრობა

1. ელექტროეროზიული დამუშავების პროცესის გაცნობა, ესკიზის შედგენა და სამუშაო რეჟიმების დადგენა.
2. ელექტროდების შერჩევა.
3. ზედაპირის დამუშავება–განმტკიცება სხვადასხვა ელექტროდებით და რეჟიმებით.
4. განმტკიცებული ზედაპირის კონტროლი: დატანილი ფენის სისალის და სიმქისის განსაზღვრა.
5. დაკვირვებათა ცხრილის შევსება.

დეტალის №	დეტალის მასალა	ელექტროდის მასალა	მიღებული ზედაპირის სისალე, HRC	მიღებული ზედაპირის ნიმქისე, Rz

6. გრფიკის შედგენა



7. შედეგების ანალიზი და დასკვნა.

8. ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიშის გაფორმება.

ლაბორატორიული სამუშაო № 3

დეტალების ელექტროქიმიური დამუშავება

1. ლაბორატორიული სამუშაოს მიზანი

დეტალების ელექტროქიმიური დამუშავების პროცესის პრაქტიკული გაცნობა და ათვისება

2. ძირითადი ცნებები

ელექტროქიმიური დამუშავების მეთოდს საფუძვლად უდევს ლითონების ანოდური გახსნის მოვლენა, რომელიც მიმდინარეობს ელექტროლიტურ გარემოში იარადისა და ნამზადის უშუალო კონტაქტის გარეშე.

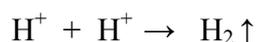
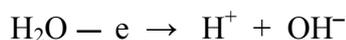
ელექტროლიტები ეს არის ნივთიერებები, რომლებიც ნებისმიერ მდგომარეობაში (კრისტალური, თხევადი და ხსნარი) ხასიათდებიან იონური გამტარობით.

ლითონების ანოდური გახსნის პროცესი მიმდინარეობს ორ გამტარს 1-ელექტროდ-კათოდსა და ელექტროდ-ანოდს ანუ დეტალს შორის, რომლებიც მიერთებულია მუდმივი პოტენციალის მქონე დენის წყაროსთან (ნახ. 3.1). ელექტროლიტში ჩაშვებულ ელექტროდების ზედაპირებზე მიმდინარეობს შექცებადი რეაქცია



სადაც n ლითონის ვალენტობაა; Me^{n+} - ლითონის იონი; e - ელექტრონი.

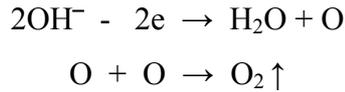
ელექტროდებზე მოდებული ძაბვის ზემოქმედებით, იონები ელექტროლიტში იწყებენ მოძრაობას ერთი ელექტროდიდან მეორესკენ. კათოდზე ხდება წყლის სწრაფი მოლეკულური დაშლა წყალბადის მოლეკულის გამოყოფით



ანოდზე ხდება ლითონის ანოდური გახსნა და ჰიდროქსიდის ნალექის წარმოქმნა



ერთდროულად წარმოიქმნება მოლეკულური ჟანგბადი



ლითონური დაშლის პროდუქტი ოქსიდის სახით გამოიტანება ელექტროლიტის საშუალებით. საწარმოო პირობებში ელექტროქიმიური დამუშავება იყოფა ორ ჯგუფად:

1. ელექტროქიმიური დამუშავება სტაციონალურ ელექტროლიტში.
2. ელექტროქიმიური დამუშავება გამდინარე ელექტროლიტში.

ნამზადის ზედაპირიდან ნამატის მოხსნის და დამუშავების ზონიდან გამოტანის ხერხის მიხედვით, არსებობს ელექტროქიმიური დამუშავების ორი მეთოდი:

1. ელექტროქიმიური (ანოდურ)-ჰიდრაგლიკური.
- 2 ელექტროქიმიურ-მექანიკური.

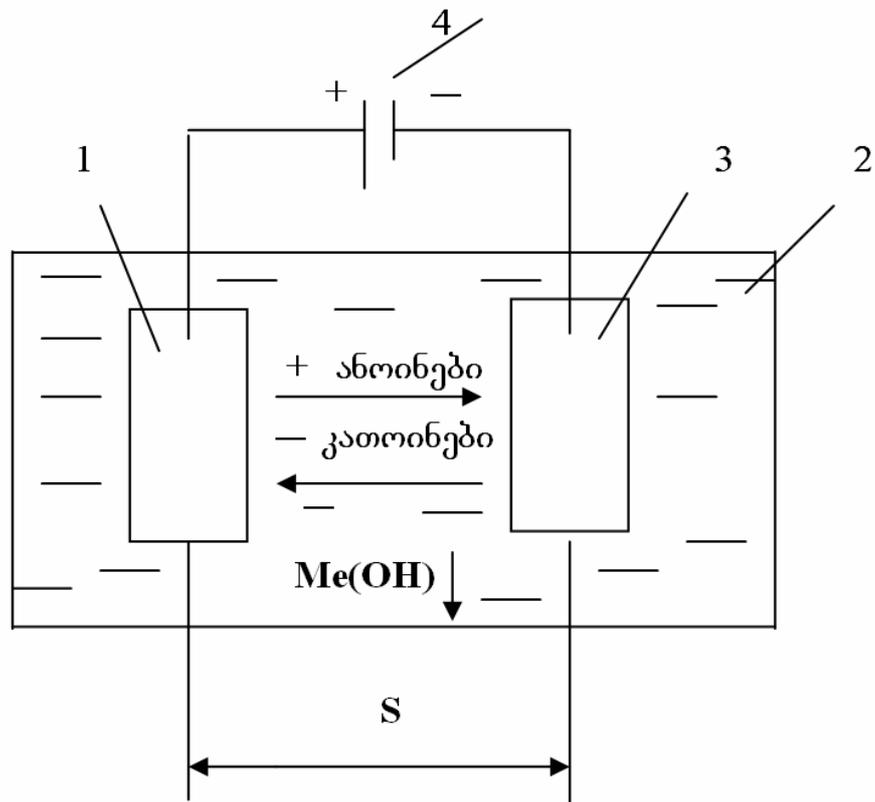
ანოდურ-ჰიდრაგლიკური დამუშავება დამყარებულია ლითონების ლოკალურ ანოდურ გახსნასა და დაშლის პროდუქტების ჰიდრაგლიკური ნაკადით მოცილების პრინციპზე.

მასალების ელექტროქიმიურ-მექანიკური დამუშავება დაფუძნებულია კომბინირებულ პრინციპზე, კერძოდ, ნამზადის ზედაპირის ანოდური დაშლის პროდუქტის მექანიკურ მოცილებით დამუშავების ზონიდან.

ელექტროქიმიური დამუშავება იძლევა ზედაპირის სიმქისეს 6-9 კლ დიაპაზონში Ra 2,5...0,1 მკმ, მისი მნიშვნელობა დამოკიდებულია დამუშავების სახეობაზე, დასამუშავებელ მასალაზე, ელექტროლიტზე და დამუშავების პირობებზე.

შავი და სასუფთაო ელექტროქიმიური დამუშავება, ნებისმიერ რეჟიმზე, იძლევა მექანიკური სასუფთაო დამუშავების შესაბამის უსწორობებს.

ელექტროქიმიური დამუშავება, მექანიკურისაგან განსხვავებით, გამოიყენება ნებისმიერი სისალის დეტალების დასამუშავებლად, ამასთან, რაც მეტია სისალე, მით უფრო მაღალია ტექნოლოგიური მაჩვენებლები.



ნახ. 3.1. ელექტროლიზის სქემა: 1 - ელექტროდი-ანოდი; 2 - ელექტროლიტი;
3 - ელექტროდი-კათოდი; 4 - კვების წყარო.

3. ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების მიმდევრობა

1. ელექტროქიმიური დამუშავების პროცესის გაცნობა.
2. ესკიზის შედგენა: ელექტროქიმიური დამუშავება სტაციონალურ ელექტროლიტში.
3. დასამუშავებელი მასალისა და ელექტროდების შერჩევა.
4. კონტროლის დროის ინტერვალის შერჩევა.
5. ნიმუშების გაზომვა დამუშავებამდე და დამუშავების შემდეგ.
6. დაკვირვებათა ცხრილის შევსება.

დამუშავების დრო t წთ	ელექტროლიტი	ძაბვა, ვოლტი	მოხსნილი ფენა a , მკმ

7. გრფიკის შედგენა a მკმ / t წთ



8. შედეგების ანალიზი და დასკვნა.

9. ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიშის გაფორმება.

ლაბორატორიული სამუშაო № 4

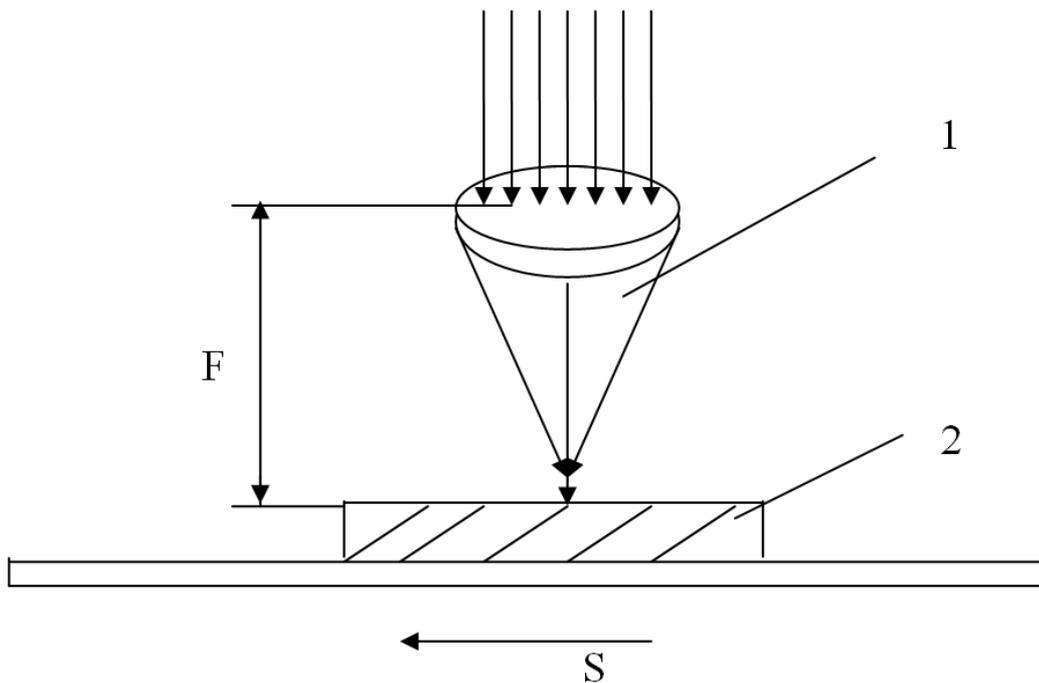
დეტალებზე მიკრონახვრეტების მიღების ლაზერული ტექნოლოგიის ათვისება

1. ლაბორატორიული სამუშაოს მიზანი

იმპულსური მოქმედების ლაზერის დანადგარის მუშაობის პრინციპის გაცნობა და მიკრონახვრეტების მიღების პრაქტიკული ათვისება

2. ძირითადი ცნებები

ლაზერული ტექნოლოგიით მასალების დამუშავებას საფუძვლად უდევს გამოსხივების კონცენტრირებული ნაკადის (1) ურთიერთქმედება დასამუშავებელი დეტალის (2) ზედაპირთან (ნახ. 4.1)



ნახ. 4.1. ლაზერის გამოსხივების დასამუშავებელ ზედაპირზე ფოკუსირების სქემა

F – საფოკუსო მანძილი, S – მიწოდება.

ტექნოლოგიური ლაზერის რეზონატორის ფანჯრიდან გამოსული გამოსხივება წარმოადგენს კონას, რომლის დიამეტრიც რამდენიმე მილიმეტრიდან ათეულ მილიმეტრამდეა. ზემოქმედების ზონაში, ენერგიის სათანადო კონცენტრაციის, სიმძლავრის და სიმკვრივის მისაღებად, აუცილებელია გამოსხივების ფოკუსირება.

ფოკუსურ ლაქაში გამოსხივების სიმკვრივის სიდიდე საორიენტაციოდ განისაზღვრება (მყარსხეულიანი ლაზერებისათვის- ნახ.4.2, ფოკუსირების მრგვალი ლაქის შემთხვევაში) ფორმულით:

$$q = \frac{4E}{\pi D^2} \text{ ვტ/სმ}^2$$

სადაც E - გამოსხივების ენერგიეს სიდიდეა, რომლის მონაცემიც აიღება დანადგარის მართვის პულტიდან; D- დეტალის ზედაპირზე ზემოქმედების ლაქის დიამეტრი.

ზემოქმედების ზონაში გამოსხივების ნაკადის მაღალი სიმკვრივე საშუალებას იძლევა: გავახუროთ, დავადულოთ და ავაორთქლოთ ნებისმიერი მასალა მიკრო-მილიწამებით გაზომილი დროის განმავლობაში. ლაზერული დამუშავების მუშა პროცესების საორიენტაციო პარამეტრები წარმოდგენილია ცხრილში.

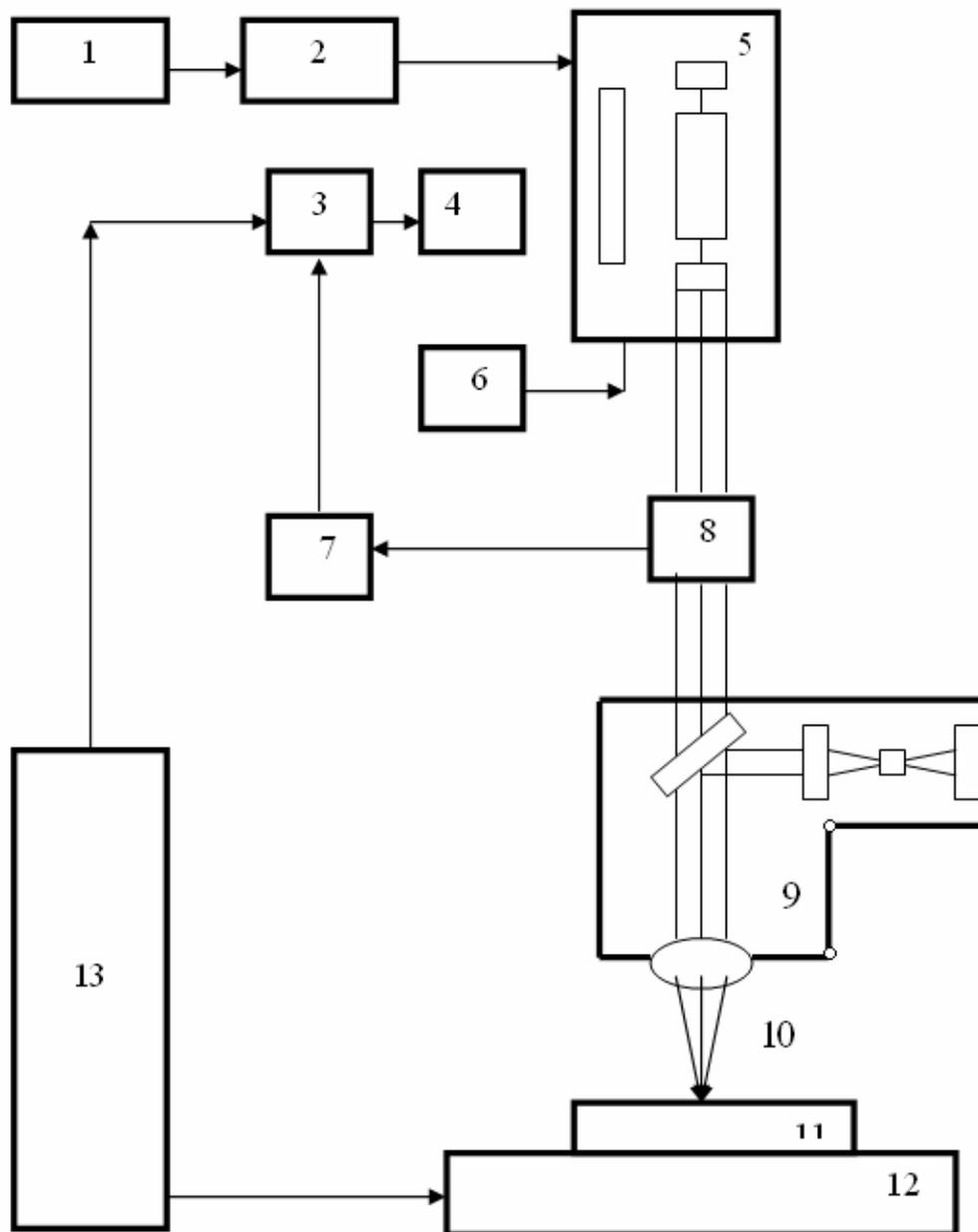
1. ცხრილი – ლაზერული დამუშავების პროცესები

პროცესის სახეობა	დროის დიაპაზონი, წმ	გამოსხივების სიმკვრივის დიაპაზონი, ვტ/სმ ²	სითბური ენერგიეს დიაპაზონი, ჯ/სმ ²
1. ზომითი დამუშავება (ჭრა, გახვრეტა)	10 ⁻⁵ -10 ⁻³	10 ⁷ -10 ⁹	10 ² -10 ⁴
2. დნობა, შედუღება	10 ⁻⁵ -10 ⁻¹	10 ⁵ -10 ⁶	10 ² -10 ⁴
3. ზედაპირული დამუშავება: წრთობა, ლეგირება	10 ⁻¹ -10	10 ⁴ -10 ⁵	10 ⁴ -10 ⁵

მუშაობის რეჟიმის მიხედვით არსებობს: იმპულსურ-პერიოდული, იმპულსური და უწყვეტი მოქმედების ლაზერები, გამოყენებული მუშა ნივთიერების მიხედვით არსებობს მყარსხეულიანი, აირადი, თხევადი და ნახევრადგამტარული ოკგ.

იმპულსური მოქმედების ლაზერის ტექნოლოგიური დანადგარი (ნახ. 4.2) შედგება:

1- დამზუხტავი მოწყობილობის; 2- ტევადობის; 3- მართვის სისტემის; 4- ანთების ბლოკის; 5- ლაზერის თავის; 6- გაცივების სისტემის; 7- გამოსხივების ენერგიის სტაბილიზაციის სისტემის; 8- გამოსხივების ენერგიის გადამწოდის; 9- ოპტიკური სისტემის; 10- ლაზერის სხივის; 11- დასამუშავებელი დეტალის; 12- მაგიდის და 13- პროგრამული მართვის სისტემისაგან.



ნახ. 4. 2. მყარსხეულიანი ლაზერის ბლოკ-სქემა

3. ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების მიმდევრობა

1. ლაზერის დანადგარის მუშაობის პრინციპის გაცნობა და ესკიზის შედგენა.
2. დამუშავების ტექნოლოგიური პროცესის შესწავლა და რეჟიმების შერჩევა:
 - ლაზერის გამოსხივების სიმკვრივის დიაპაზონის შერჩევა ცხრილიდან.
 - ოპტიკური სისტემის გაცნობა და ფოკუსური ლინზისათვის ზემოქმედების ზონის დიამეტრის განსაზღვრა ფორმულით

$$D = F \cdot \theta$$

სადაც: F — ლინზის ფოკუსური მანძილია, ($F = 10$ სმ), θ — სხივის გაშლის კუთხე,

რომელიც დანადგარის საპასპორტო მახასიათებელია.

- მიკრონახვრეტების მიღება გამოსხივების ენერგიის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის: $E = 7, 10, 15, 20, 25$ ვ.
3. მიღებული ნახვრეტების დიამეტრის — D გაზომვა (მიკროსკოპით).
 4. ყოველი ნახვრეტისათვის ნაკადის სიმკვრივის რეალური სიდიდის განსაზღვრა ფორმულით:

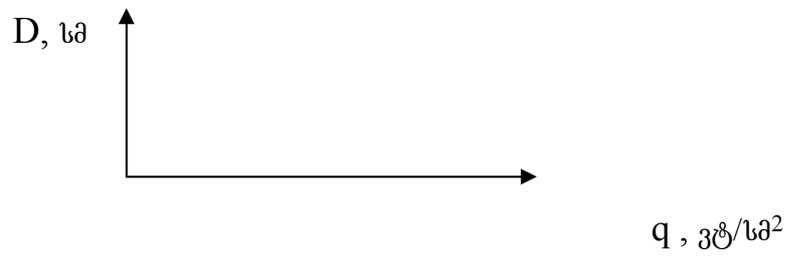
$$q = 4 E / \pi D^2 \text{ ვტ/სმ}^2$$

5. დაკვირვებათა ცხრილის შევსება.

დაკვირვებათა ცხრილი

ნახვრეტის №	გამოსხივების ენერგია — E , ვ	ნახვ. დიამეტრი — D , სმ	ნაკადის რეალური სიმკვრივე — q , ვტ/სმ ²

6. ურთიერთდამოკიდებულების გრაფიკის შედგენა D / q



7. შედეგების ანალიზი და დასკვნა.

8. ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიშის გაფორმება.

ლაბორატორიული სამუშაო № 5 ლაზერული წერტილოვანი შეღულება

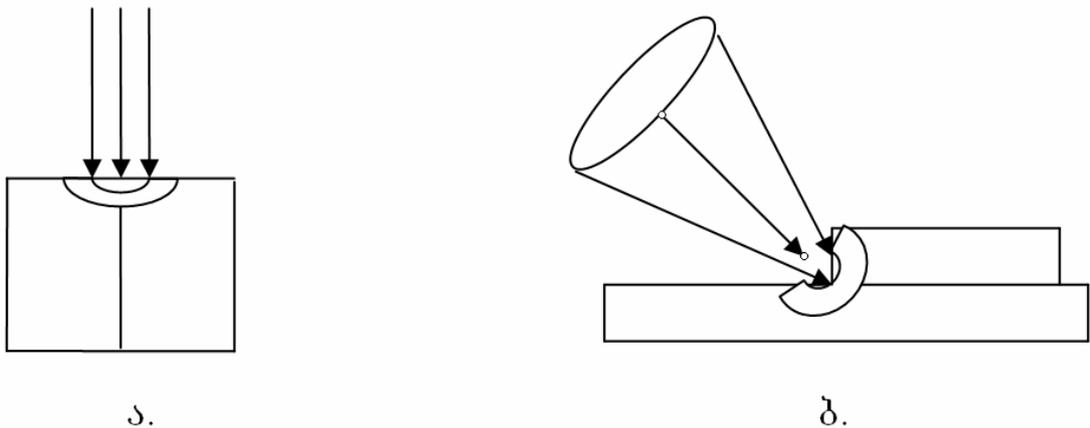
1. ლაბორატორიული სამუშაოს მიზანი

იმპულსური მოქმედების ლაზერის დანადგარზე შეღულების ტექნოლოგიის გაცნობა და ათვისება

2. ძირითადი ცნებები

ლაზერული შეღულება, სხვა მეთოდებისაგან განსხვავებით, გამოყენება სხვადასხვა მასალისა და ფორმის მქონე დეტალების, კონსტრუქციების და ელემენტების შესაერთებლად.

ლაზერული შეღულება გამოიყენება სხვადასხვა სახის ნაკერის მისაღებად: პირგადადებული, პირაპირ და ა.შ., სხვადასხვა სიღრმესა და სიგრძეზე; ფურცლოვანი მასალის, მავთულის და მასიური ფილის ჰერმეტიკული შეერთებისათვის (ნახ. 5.1)



ნახ. 5.1. ლაზერული შეღულების სქემები: ა - პირაპირი, ბ - გადადებითი.

ლაზერული შედუღება მიმდინარეობს გამოსხივების სიმძლავრის სიმკვრივის დაბალი მაჩვენებლებით, რადგან შედუღება საჭიროებს მასალის მხოლოდ გახურებასა და გადნობას. გამოიყენება იმპულსური, იმპულსურ-პერიოდული და უწყვეტი მოქმედების ლაზერები.

იმპულსური მეთოდით ხორციელდება სხვადასხვა კონფიგურაციის დეტალების წერტილოვანი და ნაკერიანი შედუღება. იმპულსური ნაკერიანი შედუღება წარმოიქმნება შედუღების წერტილების ერთმანეთზე დატანით და ხასიათდება გადაფარვის კოეფიციენტით:

$$K = L / D$$

სადაც L — შედუღების წერტილების გადაფარვის სიგრძეა; D — შედუღების წერტილის დიამეტრი.

იმპულსური მეთოდი ხასიათდება დაბალი სიჩქარით, ამიტომ პრაქტიკაში ძირითადად გამოიყენება უწყვეტი შედუღება, მაღალი მწარმოებლობის CO_2 ლაზერებით. ლაზერული შედუღება ფართოდ გამოიყენება მრეწველობის სხვადასხვა დარგებში: ხელსაწყოთმშენებლობაში, თვითმფრინავთმშენებლობაში, გემთმშენებლობაში, საათების წარმოებაში და ა.შ.

3. ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების მიმდევრობა

1. ლაზერული შედუღების სქემის აგება.
2. დამუშავების პროცესის შესწავლა და რეჟიმების შერჩევა.
 - ენერჯის მუდმივი სიდიდისათვის $E = 25$ ჯ
 - განფოკუსირებისათვის $F_{გან} = F_{ფოკ} + (2, 4, 6, 8)$ მმ,
3. შედუღების ლაქის დიამეტრის— D გაზომვა (მიკროსკოპით).
4. სიმკვრივის რეალური სიდიდის განსაზღვრა ფორმულით:

$$q = 4 E / \pi D^2 \text{ კტ/სმ}^2$$

5. დაკვირვებათა ცხრილის შევსება.

შედულების წერტილის №	გამოსხივების ენერგია -E, ჯ	ღლობის დიამეტრი -D, სმ	ნაკადის რეალური სიმკვრივე - q, ვტ/სმ ²

6. ურთიერთდამოკიდებულების გრაფიკის შედგენა.



7. შედეგების ანალიზი და დასკვნა

8. ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიშის გაფორმება.

ლაბორატორიული სამუშაო №6

პლაზმურ-რკალური პროცესის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლებისა და სითბური ბალანსის დადგენა.

1. ლაბორატორიული სამუშაოს მიზანი

პლაზმურ დანადგარზე, რომელიც განკუთვნილია სხვადასხვა ტექნოლოგიური პროცესების განსახორციელებლად მოიხსნას (დადგინდეს) კვების წყაროსა და პლაზმური სანთურის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები, რომელთა საშუალებითაც დადგინდება რკალის ოპტიმალური პარამეტრები, რაც თავის მხრივ აუცილებელი პირობაა მუშა პროცესის სტაბილურობისათვის. ასევე, კალორიმეტრული მოწყობილობით დადგინდეს პლაზმურ-რკალური პროცესის მარგი ქმედების კოეფიციენტი (მქკ).

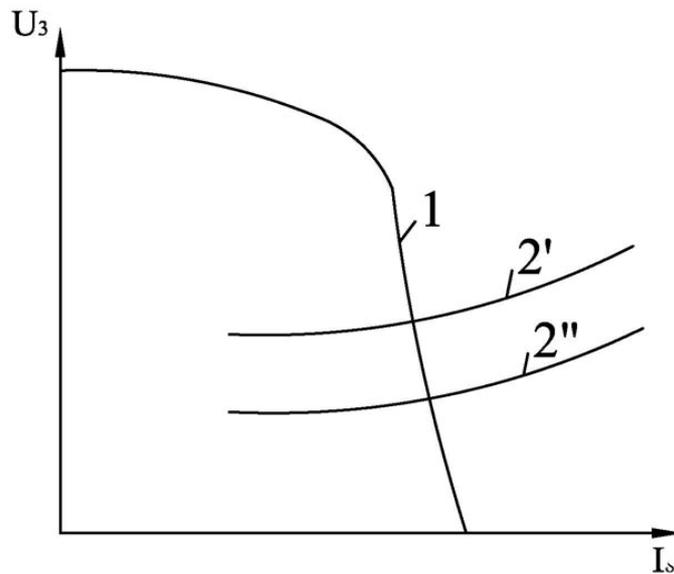
2. ძირითადი ცნებები და მოსაზრებები

დენის წყაროს, რომელიც კვებავს პლაზმურ რკალს უნდა გააჩნდეს სათანადო სიმძლავრე (დენის ძალა 400-500 ა, ძაბვა 300-320 ვ), უზრუნველყოფს რკალის პირველადი საიმედო ანთება და მისი სტაბილურობა მუშაობის პროცესში. კვების წყაროს ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები უნდა იყოს მკვეთრად ვარდნილი რაც ნამზადის სისქის ცვალებადობისა და სანთურის სხვადასხვა სიმაღლეზე ორიენტაციის პირობებში განაპირობებს პლაზმური რკალის ერთნაირ შეღწევადობას და განაჭერი ზედაპირის მაღალ ხარისხს.

ნათქვამის საილუსტრაციოდ 1-მრუდი (ნახ. 6.1.) ეთანადება პლაზმური კვების წყაროს, რომელიც გარკვეულ უბანზე მკვეთრად ვარდნილი (ვერტიკალური) მახასიათებლითაა წარმოდგენილი, ხოლო 2-2' მრუდები კი თვითონ რკალის მახასიათებლებია, რომლებიც აგებულია ძაბვის ვარდნის სხვადასხვა პარამეტრებისათვის. ასეთი მახასიათებლების მქონე კვების წყაროები უზრუნველყოფენ რკალის პირველადი ანთების უავარიო რეჟიმს და ტექნოლოგიური პროცესის სტაბილურობას მუშაობის მთელ ციკლში.

პლაზმური რკალის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლობის არსებობა საშუალებას მოგვცემს ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში ჭრის პარამეტრების ოპტიმიზაციის მიზნით მომსახურე პერსონალს გაეწიოს სათანადო რეკომენდაციები.

ლაბორატორიული სამუშაოს მეორე ნაწილი განკუთვნილია კალორიმეტრული მოწყობილობის გამოყენებით შესწავლილ იქნას პლაზმურ რკალზე გამოყოფილი სითბური ბალანსის განაწილება და დადგინდეს პროცესის მარგი ქმედების კოეფიციენტი.

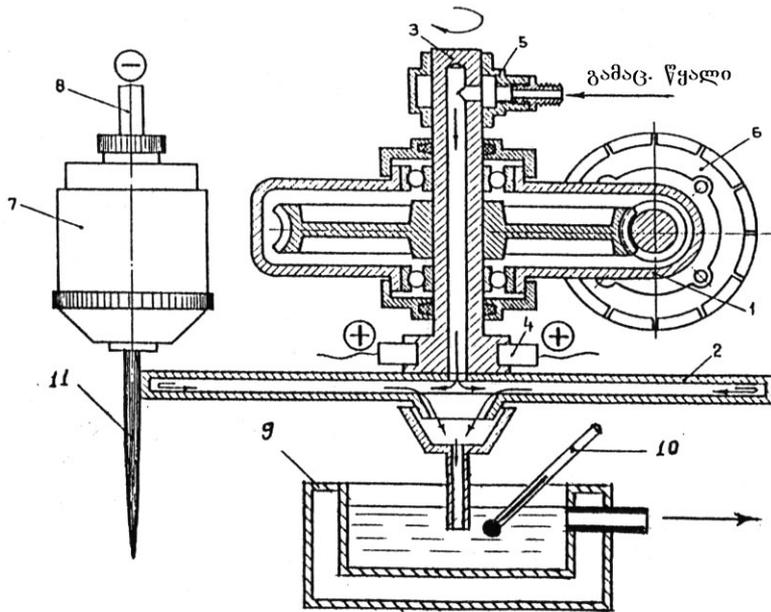


ნახ. 6.1. კვების წყაროს (1) და სხვადასხვა სიგრძის რკალის (2-2') ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები

სითბური ბალანსის დასადგენად პლაზმურ დანადგარზე დამონტაჟებულია კალორიმეტრული მოწყობილობა, რომელიც საშუალებას გვაძლევს ცდების ჩატარების მომენტში დადგინდეს ანოდზე (ნამზადზე) და პლაზმურ სანთურაზე გადაცემული სითბური სიმძლავრე, რკალის მიერ გარემოსადმი გადაცემული სითბური სიმძლავრე ულტრაიისფერი და ინფრა-წითელი გამოსხივების სახით.

კალორიმეტრული დანადგარი ნახევრად კონსტრუქციული შესრულებით მოცემულია მე-6.2 ნახაზზე.

მუშაობის პროცესში ბადროს ენიჭება ბრუნვითი ძრაობა წრიული სიჩქარით $V=20\text{მ/წმ}$, დანადგარს მიეწოდება ელექტრული კვება და აინთება პლაზმური რკალი. ბადროს ღრუტანიანი ღერძის სასუალებით მიეწოდება გამაცივებელი სითხე (წყალი), რომელიც სისტემის გავლის შემდეგ გროვდება წყალშემკრებში. დანადგარი აღჭურვილია ორი თერმომეტრით, რომლის საშუალებითაც იზომება გამაცივებელი წყლის ტემპერატურა შემავალ ნაწილში და წყლის შემკრებში.



ნახ. 6.2 კალორიმეტრული დანადგარი მბრუნავი ბადროთი და წყლის მიმწოდებელი კომუნიკაციებით.

1- ჭიაგადაცემის რელექტორი; 2-ბრუნავი ბადრო; 3- ლილვი; 4- დენის მიმყვანი მომჭერები; 5- გაცივების სიტემა; 6- მუდმივი დენის ელექტრული ძრავა; 7- პლაზმური სანთურა; 8- კათოდი; 9- წყალშემკრები (დიუარის ჭურჭელი); 10-თერმომეტრი; 11- პლაზმური ჭავლი.

3. ლაბორატორიული სამუშაოს ჩატარების მეთოდიკა

ა) პლაზმურ რკალზე გამოყოფილი სითბური სიმძლავრის ბალანსი შეიძლება ასე ჩამოყალიბდეს

$$q_{რკ} = q_a + q_3 + q_6 + q_{კონ.}$$

რომელშიც $q_{რკ}$ - რკალზე გამოყოფილი სითბური სიმძლავრეა, კალ/წმ;

q_a - ანოდზე (ნამზადზე) გადაცემული სითბური სიმძლავრე, კალ/წმ;

q_3 - სითბური სიმძლავრე გადაცემული პლაზმურ სანთურაზე, კალ/წმ;

q_6 - გამოსხივებაზე დაკარგული სითბური სიმძლავრე, კალ/წმ;

$q_{კონ.}$ - კონვექტიურ სითბოგადაცემაზე დაკარგული სიმძლავრე, კალ/წმ.

ბ) პლაზმურ რკალზე გამოყოფილი სითბური სიმძლავრე იანგარიშება

$$q_{რკ} = 0,24 IU$$

სადაც I - დენის ძალა რკალზე, ა; U - ძაბვის ვარდნა რკალზე, ვოლ.; 0,24 (ზუსტად 0,239) კალ/ვტ გადამყვანი კოეფიციენტია ელექტრული ერთეულიდან სითბურში.

გ) ანოდზე (მბრუნავ ბადროზე) გადაცემული სითბური სიმძლავრე იანგარიშება

$$q_a = G_{\text{წყ}} \cdot C_{\text{წყ}} (t_2 - t_1) \text{ კალ/წმ.}$$

სადაც $G_{\text{წყ}}$ – გამაცივებელი წყლის ხარჯია, ლ/წთ;

$C_{\text{წყ}}$ – წყლის კუთრი სითბოტევადობაა, კალ/გრ $^{\circ}\text{C}$;

t_1 და t_2 – წყლის საწყისი და საბოლოო ტემპერატურებია, $^{\circ}\text{C}$.

დ) სითბური გამოსხივების სითბური სიმძლავრე იანგარიშება ტოლობით

$$q_b = 4,9 \cdot \varepsilon \left(\frac{T}{100} \right)^4 \cdot F \text{ კალ/წმ}$$

სადაც ε – რკალის სისუფთავის ხარისხია ($2 \cdot 10^{-4}$); T – პლაზმური რკალის ტემპერატურაა $^{\circ}\text{C}$; F – პლაზმური ჭავლის გამოსხივების ზედაპირული ფართობია და ტოლია $F = \pi d \cdot p \text{ მ}^2$, თავის მხრივ d და p – პლაზმური ჭავლის დიამეტრი და რკალის სვეტის სიგრძეა, მეტრებში.

ე) პლაზმურ სანთურაზე გადაცემული სითბური სიმძლავრე

$$q_c = q_{\text{კათ}} + q_{\text{საქშ.}}$$

ექსპერიმენტლურად დადგენილია, რომ კათოდზე გადაცემული სიმძლავრე $q_{\text{კათ.}} = 3,4\% q_{\text{რკ.}}$; ხოლო საქშენზე გადაცემული სიმძლავრე კი $q_{\text{საქშ.}} = 6\% q_{\text{რკ.}}$

ვ) პლაზმურ-რკალური პროცესის მარგი ქმედების კოეფიციენტი $\%$ იანგარიშება თანაფარდობით

$$\eta = \frac{q_c}{q_{\text{რკ}}} \cdot 100\%$$

4. ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების თანამიმდევრობა

- ა) გაიწყოს პლაზმური დანადგარი მე-2 ნახაზზე წარმოდგენილი სქემის მიხედვით;
- ბ) შეირჩეს პლაზმის წარმომქმნელი შეკუმშული ჰაერის და გამაცივებელი წყლის ხარჯი, პლაზმური სანთურის საქშენის (ფორმის მიმცემი ბუნიკის) დიამეტრი;
- გ) შეირჩეს პლაზმურ რკალზე დენის ძალისა და ძაბვის ვარდნის საფეხურები, რომლის მიხედვითაც უნდა მოხდეს აღნიშნული პარამეტრების დადგენა;
- დ) ჩაირთოს კალორიმეტრული სამარჯვის ბადროს მარბუნებელი მექანიზმი; ანთოს პლაზმური რკალი და სიმძლავრის (დენის ძალა, ძაბვა) შერჩეული საფეხურებისათვის თერმომეტრის (ან თერმოწყვილის) საშუალებით გაიზომოს გამაცივებელი წყლის ტემპერატურა შემავალ და გამომავალ ნაწილებში;
- ე) დადგინდეს პროცესის მარგი ქმედების კოეფიციენტი და მიღებული შედეგების საფუძველზე გაკეთდეს დასკვნები.

**5. ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების მაგალითი
საწყისი მონაცემები და პირობები**

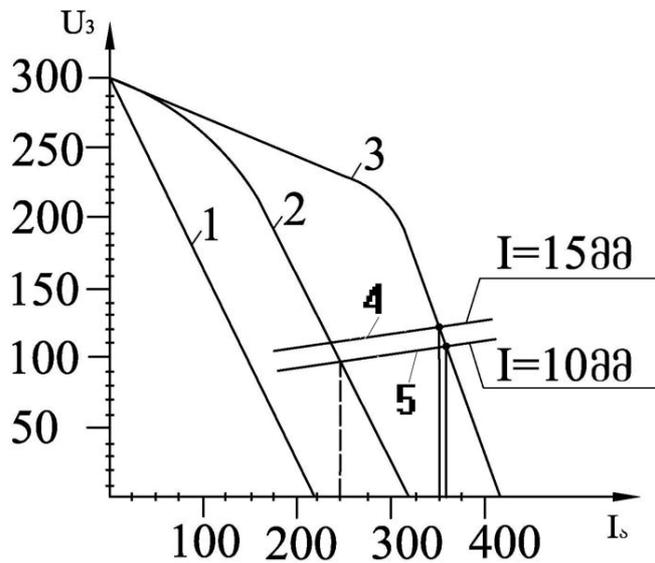
- ა) პლაზმური რკალის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები აიგოს ორი შემთხვევისათვის: პირველი როდესაც სანთურის კიდურა ნაწილი (საქშენი) მბრუნავი ბადროდან (ანოდი) მოცილებულია 10 მმ-ით და მეორე როდესაც მოცილებულია 17 მმ-ით. პლაზმის წარმოქმნელი აირის ხარჯი 2,5 მ³/სთ, საქშენის დიამეტრია 4 მმ, გამაცივებელი სითხის (წყლის) ხარჯი 1,5 მ³/სთ (416,6გრ/წმ);
- ბ) ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები ორივე შემთხვევისათვის დატანილი იყოს კვების წყაროს გარე სტატიკურ მახასიათებლებზე კერძოდ დენის ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობისათვის I=400 ა. ცდები ჩატარდეს დენის ძალის 150 --- 400 ა ინტერვალში 50 ა დისკრეტულობით. ცდებით მიღებული შედეგები გრაფიკული გაფორმებით მოცემულია მე-6.3. ნახაზზე

დაკვირვებათა ცხრილი

საფეხურები	1	2	3	4	5	6
დენის ძალა I, ა	150	200	250	300	350	400
ძაბვის ვარდნა U, ვ H = 10 მმ	80	83	85	95	105	110
ძაბვის ვარდნა U, ვ H = 17 მმ	90	95	110	120	130	135

- გ) პლაზმურ რკალზე მიწოდებული I=400 ა დენის ძალისა და U=110 ვ ძაბვის ვარდნის შემთხვევისათვის ვიანგარიშოთ სითბური სიმძლავრე

$$q_{რკ} = 0,24 \cdot IU = 0,24 \cdot 400 \cdot 110 = 10560 \text{ კალ/წმ}$$



ნახ. 6.3. კვების წყაროს გარე სტატიკური (1-2-3) და პლაზმური რკალის ვოლტ-ამპერული (4-5) მახასიათებლები.

დ) ანოდზე გამოყოფილი სითბური სიმძლავრე გაიანგარიშება

$$q_a = G_{\text{წყ}} \cdot C_{\text{წყ}} (t_2 - t_1)$$

რომელშიც $G_{\text{წყ}} = 1,5\text{მ}^3/\text{სთ} = 1500000 \text{ გ/სთ} = 416,6 \text{ გ/წმ}$;

$$C = 0,998 \text{ კალ/გრ}^{\circ}\text{C}$$

$$t_1 = 10^{\circ}\text{C} \text{ საწყისი}$$

$$t_2 = 22^{\circ}\text{C} \text{ საბოლოო}$$

$$q_a = 416,6 \cdot 0,998 (22-10) \approx 4990 \text{ კალ/წმ}$$

ანოდზე გამოყოფილი სითბური სიმძლავრე % ტოლია

$$(q_a)\% = \frac{q_a}{q_{\text{რკ}}} \cdot 100 = \frac{4990}{10560} \cdot 100 = 47,3\%$$

ე) რკალის მიერ გამოსხივებაზე დახარჯული სითბური სიმძლავრე იანგარიშება

$$q_b = 4,9\varepsilon \left(\frac{T}{100} \right)^4 \cdot B$$

რკალის სისუფთავის ხარისხი $\varepsilon = 2 \cdot 10^{-4}$; პლაზმის ტემპერატურა შერჩეულ სიმძლავრეზე მივიღოთ $T = 15000^{\circ}\text{C}$; პლაზმური რკალის გამოსხივების ფართი, როდესაც საქმენის დიამეტრი $d = 0,004\text{მ}$, რკალის სიგრძე $\ell = 0,12\text{მ}$ ტოლია

$$F = \pi dl = 3,14 \cdot 0,004 \cdot 0,12 = 0,001518^2$$

საბოლოოდ გვექნება

$$q_3 = 4,9 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \left(\frac{15000}{100} \right)^4 \cdot 0,00151 = 750 \text{ კალ/წმ}$$

პროცენტებში გადაანგარიშებით

$$q_8 = \frac{750}{10560} \cdot 100 = 7,1\%$$

ვ) ვიანგარიშით სანთურაზე გადაცემული სითბური სიმძლავრე კათოდს გადაეცემა მთელი სიმძლავრის 3,4% ანუ

$$q_4 = 10560 \frac{3,4}{100} = 360 \text{ კალ/წმ}$$

ანალოგიურად ფორმისმიმცემ ბუნიკს გადაეცემა 6%

$$q_5 = 10560 \frac{6}{100} = 634 \text{ კალ/წმ}$$

ზ) გარემოსადმი კონვექტიული სითბოგადაცემის სიმძლავრე ტოლია

$$q_{\text{კონ}} = q_{\text{რკ}} - (q_4 + q_5 + q_6 + q_3) = 10560 - (4490 + 360 + 634 + 750) = 3826 \text{ კალ/წმ.}$$

% სათანადოდ იქნება

$$q_{\text{კონ}} = \frac{3826}{10560} \cdot 100 = 36,2\%$$

თ) პლაზმურ-რკალური პროცესის მარგიქმედების კოეფიციენტი განხილული შემთხვევისათვის ტოლია

$$\eta = \frac{q_4}{q_{\text{რკ}}} \cdot 100 = \frac{4990}{10560} \cdot 100 = 47,3\%$$

თვალსაჩინოებისათვის რკალზე გამოყოფილი სითბური ბალანსი შეიძლება ასე წარმოვადგინოდ

სითბური სიმ- ძლავრე გადაც. რკალზე, კალ/წმ	სითბური სიმძლავრე ანოდზე, კალ/წმ	სითბური სიმძლავრე კათოდზე, კალ/წმ	სითბური სიმძლავრე ბუნიკზე, კალ/წმ	სით. სიმძლ. კონვექტ. გამოსხ. კალ/წმ	სითბური გამოსხივება კალ/წმ
10560	4990	360	634	3826	750
100%	47,3	3,4	6,0	36,2	7,1

ჩატარებული ლაბორატორიული სამუშაო კვლევითი ხასიათისაა და საშუალებას გვაძლევს ჩამოვყალიბოთ შემდეგი მოსაზრებები:

1. პლაზმური სანთურის სიმალლეზე დაყენების ცვალებადობამ 5 მმ-ის ($H=10\text{---}15\text{მმ}$) ფარგლებში გამოიწვია ძაბვის ვარდნის გაზრდა პლაზმურ რკალზე 20 ვოლტით ($U=100\text{---}120\text{ვ}$), რამაც განაპირობა თავის მხრივ დენის ძალის ცვალებადობა 10 ა ($I=360\text{---}350\text{ ა}$); ეს კი გავლენას არ ახდენს რკალის ნამზადში შეღწევადობაზე და განაჭერი ზედაპირის ხარისხზე.
2. კალორიმეტრირების მეთოდით ჩატარებული ცდებით დადგინდა პლაზმურ რკალზე გამოყოფილი სითბური სიმძლავრის ბალანსი და პროცესის მარგი ქმედების კოეფიციენტი, რომელმაც მთელი სიმძლავრის 47,3% ($\eta_{რკ}=0,47$) შეადგინა.

ლაბორატორიული სამუშაო №7

ფურცლოვანი მასალების პლაზმურ-რკალური ჭრის პროცესის პარამეტრების ოპტიმიზაცია.

1. ლაბორატორიული სამუშაოს მიზანი

შესწავლილ იქნას პრაქტიკულად ფურცლოვანი მასალის პლაზმურ-რკალური ჭრის პროცესი ლაბორატორიული დანადგარის გაწყობით, ექსპერიმენტის მომზადებით და ჩატარებით; მოხდეს თეორიულად გაანგარიშებული პარამეტრების დაზუსტება ცდების ჩატარების დროს; განაჭერი ზედაპირის სახასიათო უბანზე ჩაიწეროს პროფილი გრამა, სათანადო დამუშავებით და გაანგარიშებით, დადგინდეს სიმქისის კლასი.

2. ძირითადი ცნებები და დამოკიდებულებები

დენგამტარი ფურცლოვანი მასალების პლაზმურ-რკალური ჭრის პარამეტრებზე მრავალი ფაქტორი მოქმედებს, რომელთაგან შეიძლება გამოვყოთ: პლაზმურ რკალზე მიწოდებული დენის სიმძლავრე, სანთურის საქშენის დიამეტრი და მისი არხის სიგრძე, რკალის სტაბილიზაციისათვის გამოყენებული აირი, მისი ელექტროფიზიკური მახასიათებლები და ხარჯი, სანთურის გადაადგილების სიჩქარე, მისი დაცილება ნამზადის ზედაპირიდან, კვების წყაროს ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები და სხვა. ჩამოთვლილი პარამეტრების გარკვეულ ინტერვალში მერყეობა გავლენას ახდენს ჭრის პროცესის სტაბილურობაზე პლაზმური ჭრის ოპტიმალური პარამეტრების დადგენა, განაჭერი ზედაპირის ხარისხის კვლევა საშუალებას იძლევა აღნიშნული პროცესი გამოყენებული იქნას სხვადასხვა მასალების განმაცალკევებელი ოპერაციების შესრულებისათვის.

წარმოდგენილი პარამეტრების კვლევა ფართო სპექტრით ლაბორატორიულ სამუშაოში შეუძლებელია, რის გამოც შემოვიფარგლებით რამოდენიმე საკითხის შესწავლით, კერძოდ კონკრეტული სისქის ფურცლოვანი მასალის მაგალითზე მოხდება ჭრის სიჩქარის პარამეტრების ოპტიმიზაცია; შესწავლილი იქნება ზედაპირის ხარისხი და დადგინდება მისი სიმქისის კლასი.

საწყის მომენტში ემპირიული ფირმულით შერჩეული სისქის ფურცლოვანი მასალისათვის გაიანგარიშება ჭრის სიჩქარის სიდიდე

$$V = \frac{0,24\eta IU}{J\epsilon\delta S_{\text{ღვ}}}$$

რომელშიც J - ლითონის სიმკვრივეა ღნობის ტემპერატურაზე; ϵ - განაჭერის სივსანე;
 δ - მასალის სისქე; η - პლანზმურ-რკალური ჭრის სრული მქე;
 I - რკალზე მიწოდებული დენის ძალა; U - ძაბვის ვარდნა რკალზე;
 $S_{\text{ღვ}}$ - მასალის სითბომქმცველობა ღნობის ტემპერატურაზე.

ლაბორატორიული დანადგარი გაიწყობა პლანზმური სანთურის ხანობრივი გადაადგილების ანგარიშით მიღებული სიჩქარის უზრუნველსაყოფად; პლანზმის ანთებისა და დანადგარის ჩართვის შემდეგ მუშაობის პროცესში ვიზუალური დაკვირვებით ხდება სანთურის გადაადგილების სიჩქარის დანუსტება იმ მოსაზრებით, რომ პლანზმურმა რკალმა მოახდინოს ნამზადის სრული განცალკეება, ამასთან განაჭერის ქველა ნაწიბურზე არ წარმოიქმნას გამყარებული ლითონის წვეთები, მიღებული კედლები იყოს ერთმანეთის პარალელური ზედაპირის მინიმალური სიმქისით. დანადგარის მართვის პულტზე ფიქსირდება ცდით მიღებული ყველა პარამეტრი, რომელიც უნდა ჩაითვალოს ოპტიმალურად.

ლაბორატორიული სამუშაოს მომდევნო ეტაპზე საჭიროა მოხდეს განაჭერი ზედაპირის ხარისხობრივი შეფასება კერძოდ მრავალი ფაქტორიდან შემოვიფარგლოთ განაჭერი ზედაპირის სიმქისით, რისთვისაც სახასიათო უბანზე პროფილოგრაფის საშუალებით ჩაიწერება პროფილოგრამა, რომლის სათანადო დამუშავებით და გაანგარიშებით დადგინდება სიმქისის კლასი.

სასტ 2789-73 მიხედვით სიმქისის კლასის დასადგენად საჭიროა განისაზღვროს შემდეგი პარამეტრები: R_{σ} - პროფილის სასუალო არითმეტიკული გადახრა; R_z - პროფილის უსწორობათა სიმალლე გაზომილი ათ სახასიათო წერტილში; R_{max} - პროფილის უსწორობათა უდიდესი სიმალლე; S_m - უსწორობათა ბიჯი გაზომილი პროფილის შუა ხანთან. პროფილის პარამეტრების გაანგარიშება შემოთავაზებული მეთოდით ხდება შემდეგი ფორმულებით:

$$R_z = \frac{1}{5 \cdot V_3} \left(\sum_{i=1}^5 h_{i \text{max}} - \sum_{i=1}^5 h_{i \text{min}} \right) \cdot 10^3 \quad \text{მკმ}$$

$$R_{\sigma} = \frac{1}{V_3 \cdot n} \sum_{i=1}^n |y_i| \cdot 10^3 \quad \text{მკმ}$$

$$S = \frac{1}{V_3 \cdot n \sum_{i=1}^n S_i} \quad \text{მ}^{\text{მ}}$$

რომელშიც V_3 - პროფილოგრამის ვერტიკალური გადიდების სიდიდეა; V_3 - პროფილოგრამის ჰორიზონტალური გადიდება; n - უსწორობათა ბიჯების რიცხვია; h_{imax} და h_{imin} - მაქსიმალური ორდინატებია გაზომილი პროფილის შუა ხაზიდან.

პროფილის უსწორობათა უდიდესი სიმაღლე R_{max} განისაზღვრება, როგორც მანძილი შვერილებისა და ღრმულების ხაზებს შორის ბიჯის ფარგლებში.

3. ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების თანამიმდევრობა

1. შევარჩიოთ ფურცლოვანი ფოლადის მასალა სისქით δ , მისი მარკა და ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები;
2. წარმოდგენილი ემპირიული ფორმულით განისაზღვროს პლაზმური ჭრის სიჩქარე;
3. მომზადდეს პლაზმური დანადგარი ექსპერიმენტის ჩასატარებლად: პლაზმური სანთურის გადამაადგილებელი აგრეგატის საშუალებით შეირჩეს გრძივი გადაადგილების სიჩქარე, დაყენდეს ნამზადი და პლაზმური სანთურა საჭირო პარამეტრების დაცვით, დაყენდეს შეკუმშული ჰაერისა და გამაცივებელი წყლის ხსრჯები, ჩაირთოს კვების წყარო;
4. ავანთოთ პლაზმა, შერჩეულ პარამეტრებზე გასვლის შემდეგ ჩაირთოს სანთურის გადამაადგილებელი მექანიზმი და ვიზუალური დაკვირვებით მოხდეს ჭრის სიჩქარის კორექცია;
5. ექსპერიმენტის ჩატარების პროცესში პულტზე არსებული საზომი ხელსაწყოებიდან აღებულ იქნას სათანადო ანათვლები;
6. გაჭრილი ზედაპირის სახასიათო უბანზე ჩაიწეროს პროფილოგრამა, მოხდეს მისი დამუშავება, გაანგარიშებულ იქნას R_{θ} , R_Z , S და R_{max} ; დადგინდეს ზედაპირის სიმქისის კლასი;
7. მიღებულ შედეგებზე დაყრდნობით გაკეთდეს სათანადო დასკვნები.

4. ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების მაგალითი

ა - საწყისი მონაცემები

პლაზმური ჭრით მუშავდება ფოლ. 3 სისქით $\delta=22$ მმ; მისი მექანიკური მახასიათებლებია: დენადობის ხღვარი $\sigma_T=30$ კგ/მმ², დროებით წინაღობა $\sigma_B=50$ კგ/მმ², სისალე $HB=185$ კგ/მმ², ლითონის სიმკვრივე $J=7,85$ გრ/სმ³, სითბოშემცველობა $S_{\text{ღ}}=64$ კალ/გრ. პლაზმის პარამეტრებია: დენის ძალა $I=300$ ა, ძაბვის ვარდნა რკალზე $U=120$ ვ, შეკუმშული ჰაერის ხარჯი 3 მ³/სთ, წყლის ხარჯი $0,5$ მ³/სთ, განაჭერის სიგანე $\delta=0,6$ სმ, მარგი ქმედების კოეფიციენტი (მქკ) $\eta=0,4$.

ბ – ლაბორატორიული სამუშაოს ჩატარების მსვლელობა

წარმოდგენილი ემპირიული ფორმულით ვინაგარიშოთ პლაზმური ჭრის სიჩქარე

$$V = \frac{0,24 \cdot 0,4 \cdot 300 \cdot 120}{7,85 \cdot 0,6 \cdot 2,2 \cdot 64} = \frac{3456}{663,2} = 5,2 \approx 5,0 \text{ სმ/წმ} = 300 \text{ სმ/წთ}$$

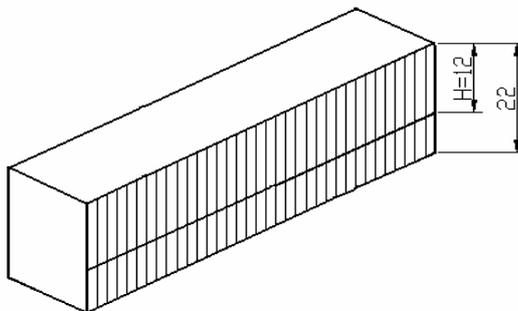
ექსპერიმენტის ჩატარების პროცესში საჭირო გახდა სიჩქარის კორექცია (შესწორება) შემცირების ხარჯზე, ვინაიდან პლაზმური რკალი ვერ ასწრებდა ფურცლის სისქის ($\delta = 22$ მმ) მთლიან გადნობას და ნამზადის განცალკევებას. მოთხოვნილი პირობების დაცვით ოპტიმალურ სიჩქარედ საჭიროა ჩაითვალოს $V=145\text{---}150$ სმ/წთ.

ლაბორატორიული სამუშაოს ამ ნაწილის მიმართ დასკვნის სახით შეიძლება ითქვას:

1. სიჩქარის საანგარიშო ემპირიული ფორმულა სრულიად ვერ ასახავს მიმდინარე პროცესს; საჭიროებს დამატებითი ექსპერიმენტების ჩატარებას და მიღებული შედეგების ანალიზის საფუძველზე ჭრის სიჩქარის კორექციას.
2. პლაზმური ჭრის სიჩქარეებს შორის (თეორიული და პრაქტიკული) სხვაობა, რომელიც შეადგენს $\Delta V = V_{\text{ანგ}} - V_{\text{ფაქ}} = 300 - 150 = 150$ სმ/წთ, განპირობებულია მასალის სითბოგამტარებლობით, დანაკარგებით ულტრაიისფერ და ინფრაწითელ გამოსხივებაზე, სითბური სიმძლავრის დანაკარგებზე, რომელიც გადაეცემა და თან გაჰყვება გამდნარი ლითონის მასას;

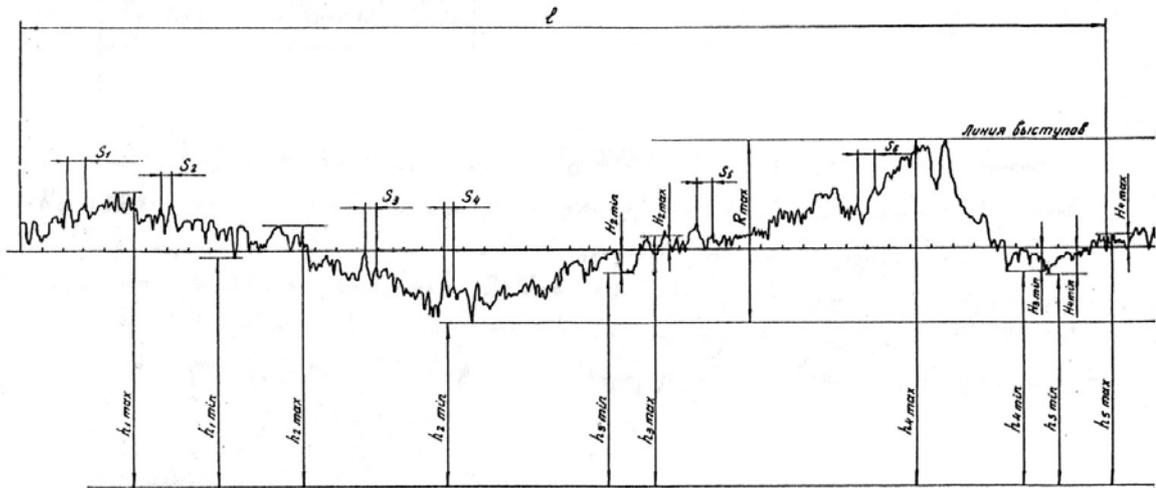
გ. განაჭერი ზედაპირის ხარისხის შეფასება

პროფილოგრამა ჩაიწერა პლაზმური განაჭერის ($\delta = 22$ მმ) ნიმუშის ტრასაზე, რომელიც ზედა ზედაპირიდან მოცილებულია 12მმ (ნახ.7.1).



ნახ. 7.1. ფურცლოვანი მასალის ($\delta=22$ მმ) პლაზმური ჭრის ნიმუში, რომლის $H=12$ მმ ტრასაზე ჩაიწერა პროფილოგრამა; დენის ძალა $I=300$ ა, ძაბვის ვარდნა $U=120$ ვ, ჭრის სიჩქარე $V=150$ სმ/წთ.

ნახ. 7.2-ზე მოცემულია H=12მმ ტრასაზე ჩაწერილი პროფილოგრამა, რომელიც ჩაიწერა პროფილოგრაფ-პროფილომეტრზე მოდელი 201 (ქარხანა „კალიბრი“).



ნახ. 7. 2 პროფილოგრამა ჩაწერილი $\delta = 22$ მმ. ნიბუშზე

პროფილოგრამის დამუშავების შემდეგ სიქისის კლასის დასადგენად საჭირო პარამეტრები შემდეგია:

h-ის მნიშვნელობები საბაზო სიდიდიდან	1	2	3	4	5
h_{min}	29	31	38	43	43
h_{max}	61	50	64	54	50

ბიჯი პროფ. შვერილებზე	1	2	3	4	5
Si	23	19	25	15	6

შენიშვნა: რადგან პლაზმურ-რკალური ჭრა ხასიათდება შედარებით უხეში ზედაპირით (გაზრდილი სიქისით) ამიტომ R_{t0} სიქისის პარამეტრს არ ვანგარიშობთ.

$$R_z = \frac{1}{5 \cdot 100} [(61 + 50 + 64 + 54 + 50) - (29 + 31 + 38 + 43 + 43)] \cdot 10^3 = 190 \text{ მკმ}$$

პროფილის ბიჯი შვერილების საზთან

$$S = \frac{1}{40 \cdot 5} (23 + 19 + 25 + 15 + 6) = 0,44 \quad \text{მმ}$$

პროფილის უდიდესი სიმაღლე შერჩეულ ტრასაზე

$$R_{\max} = \frac{h_{3\max} - h_{1\min}}{V_3} = \frac{64 - 29}{100} = 0,35 \quad \text{მმ}$$

საბოლოოდ შეიძლება დაიწეროს

Rz მკმ	Rთ მკმ	R _{max} მკმ	S მმ
190	–	350	0,44

მიღებული პარამეტრები (Rz, R_{max} და S) სასტ2789-73 მიხედვით მოთავსებულია Rz=320---160 მკმ ინტერვალში და ეთანადება ზედაპირის სიმქისის 1-კლასს.

თუ მიღებული ზედაპირის სიმქისის კლასი ეთანადება დეტალის სამუშაო ნახაზით მოცემულ სიმქისეს, მაშინ იგი შეიძლება გადაეცეს უშუალოდ აწყობის (მაგალითად შეღულების) უბანს, ხოლო თუ მოთხოვნილია სიმქისის უფრო მაღალი კლასი, მაშინ საწიროა შესრულდეს დამატებითი მექანიკური დამუშავება.

სარჩევი

1. ლაბორატორიული სამუშაო № 1 გაჭუჭყიანებული დეტალების ულტრაბგერითი გაწმენდა 3
2. ლაბორატორიული სამუშაო № 2 დეტალების ზედაპირების ელექტროეროზიული განმტკიცება 7
3. ლაბორატორიული სამუშაო № 3 დეტალების ელექტროქიმიური დამუშავება 10
4. ლაბორატორიული სამუშაო № 4 დეტალებზე მიკრონახვრეტების მიღების ლაზერული ტექნოლოგიის ათვისება. 14
5. ლაბორატორიული სამუშაო № 5 ლაზერული წერტილოვანი შედუღება 19
6. ლაბორატორიული სამუშაო № 6 პლაზმურ-რკალური პროცესის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლებისა და სითბური ბალანსის დადგენა. 22
7. ლაბორატორიული სამუშაო № 7 ფურცლოვანი მასალების პლაზმურ-რკალური ჭრის პროცესის პარამეტრების ოპტიმიზაცია. 30