

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

გივი კახიშვილი

**შენადული წერტილის ხარისხზე დომინანტ
ფაქტორთა გავლენის გამოკვლევა**

სადოქტორო პროგრამა – მასალათმცოდნეობა

შიფრი – 0412

დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად, წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი,

2016 წ

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის მეტალურგიის, მასალათმცოდნეობისა და ლითონების დამუშავების დეპარტამენტის საშემდუღებლო წარმოების მიმართულებაზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი ტ.მ.დ. პროფ. არტურ სულამანიძე _____
რეცენზენტები: _____

დაცვა შედგება _____ წლის „____“ _____ საათზე საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის _____ ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე, კორპუსი _____, აუდიტორია _____ მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 69

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატის – ფაკულტეტის ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდიანი _____

შესავალი

თემის აქტუალობა.

შედულება წარმოადგენს მასალათა დაუშლელ შეერთებას ატომთა-შორისი ძალების შეჭიდულობის მეშვეობით და არის თანამედროვე ინდუსტრიის ერთ-ერთი ძირითადი და შეუცვლელი ტექნოლოგიური პროცესი, რომლისკენაც დიდი ყურადღებაა მიპყრობილი მეცნიერ-მკვლევართა და კონსტრუქტორთა მხრიდან. ეს აიხსნება შედულების პროცესის ფართო გამოყენებით მრეწველობის მთელ რიგ დარგებში სხვადასხვა სახის კონსტრუქციათა დასამზადებლად და შესაკეთებლად.

შედულების დროს გამოყენებული ენერჯის სახეების მიხედვით იგი შეიძლება პირობითად დაიყოს 3(სამი) ძირითად ჯგუფებად:

- თერმული;
- თერმომექანიკური;
- მექანიკური.

კონტაქტური შედულება – არის თერმომექანიკური ჯგუფის ერთ-ერთი სახეობა, რომლის დროსაც შენადული შეერთება წარმოიშობა შესადული ნაკეთობის ადგილის გახურების და შეკუმშვის ძალის მოქმედების შედეგად.

შედულების დროს ლითონში ხდება თერმოდეფორმაციული და ფიზიკურ-ქიმიური პროცესები, რომლებსაც საფუძვლად უდევს შედულების პროცესში არათანაბარი გაცხელების დროს ლითონის დრეკად-პლასტიკურ დეფორმაცია და ამის შედეგად დროებითი და ნარჩენი ძაბვის წარმოშობა.

კონტაქტური შედულების მთავარი მეთოდებია – წერტილოვანი, პირაპირა და ნაკეროვანი.

ითვლება, რომ კონტაქტური წერტილოვანი შედულების დანერგვა ფაქტიურად განხორციელდა რჩილვით პროცესის შეცვლით.

ამჟამად მრეწველობაში მოქმედ საშემდულებლო მანქანათა პარკის დაახლოებით 30%-ს შეადგენს ელექტროწინალობით (კონტაქტური) შედულების დანადგარები, რაც განპირობებულია დანარჩენ სახეებთან შედარებით მათი უპირატესობებით.

პრობლემა. დადგენილია, რომ თანაბარი სისქეების დეტალთა კონტაქტური შედუღებისას პრაქტიკულად არ არსებობს რაიმე პრობლემა, თუ რეჟიმის ძირითადი პარამეტრები (I,t,P) სწორადაა შერჩეული. ხარისხის გაუარესება ხდება მაშინ, როცა არათანაბარი სისქის დეტალთა შედუღებისას, მათი სისქეთა ფარდობა აღემატება 3-ს.

აღნიშნული პრობლემის რაციონალურად გადასაწყვეტად ჩატარებულმა კვლევებმა საშუალება მოგვცა დაგვედგინა:

ა) ელექტროდთაშორის ზონაში დენის ეპიურათა სახეები;

ბ) ცხელი კონტაქტის ჰორიზონტალურ სიბრტყესა და წერტილის სიმეტრიის ჰორიზონტალურ ღერძს შორის მანძილის ცვალებადობის დამოკიდებულება სისქეთა ფარდობისაგან და დაგვემუშავებინა, შეგვექმნა სიმეტრიულად განლაგებული წერტილის მიღებისათვის საჭირო სპეციალური ელექტროდის გეომეტრია;

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითად მიზანს წარმოადგენს სხვადასხვა სისქის დეტალების კონტაქტური შედუღებისას მაღალი და სტაბილური ხარისხის შენადული ნაკერის მიღების პირობათა დადგენა, ხელოვნურად მართვა და უზრუნველყოფა. აღნიშნული მიზნის განსახორციელებლად ჩატარებული იყო შემდეგი კვლევები:

- სისქეების ფარდობის გავლენა კონტაქტური შედუღების ხარისხზე, მათ შორის:

ა) თანაბარი სისქის დეტალების კონტაქტური შედუღების გამოკვლევა;

ბ) სხვადასხვა სისქის დეტალების კონტაქტური შედუღების გამოკვლევა;

ზემოთხსენებული კვლევები განხორციელდა შემდეგი მეთოდებით:

ა) **ნახევარწერტილოვანი შედუღება**, რომლითაც დაგეგმილი იყო ნაკერის ხარისხის მკვეთრად გაუარესების მიზნით გამოკვლევა, რამაც მოითხოვა ექსპერიმენტებით დადგენილიყო შენადული წერტილის ადგილმონაცვლეობის სისქეთა ფარდობისაგან დამოკიდებულების დიაგრამა, ანუ შედუღებულიყო განსხვავებული სისქეთა გარკვეული რაოდენობის სხვადასხვა სისქის დეტალები და დაფიქსირებულიყო თვითოეული მათგანის წერტილის ადგილმდებარეობა;

ბ) შედუღების ზონის ფიზიკური მოდელირება. დენის გზის (ეპიურის) დადგენა. ანუ სქელი ნიმუშის აქტიური მოცულობის ლითონური წინა-ლობისა და კუთრი დენის ნიმუშის გეომეტრიულ და ფიზიკურ მონაცემებთან მათემატიკურ დამოკიდებულებათა გამოსაყვანად ჩატარებული იქნა წინალობით წერტილოვანი შედუღების ზონის ფიზიკური მოდელირება, რითაც გამოჩენილი იქნა შესაძულ ნიმუშთა სისქეებში დენის განაწილების ხარისხობრივი სურათი;

გ) სისქეცვლად დეტალებში ტემპერატურის ცვალებადობის გამოკვლევა, რომლის მიზანია დადგინდეს კონტაქტური შედუღების ძირითად პარამეტრთა, დაწნევის ძალის (P), დენის მოქმედი მნიშვნელობისა (I) და შედუღების დროის ხანგრძლივობის (t) გავლენა წერტილის ადგილმონაცვლეობაზე სხვადასხვა სისქეთა შემთხვევებისათვის;

დ) წერტილის ადგილის რეგულირება სპეციალური ელექტროდებით ჩატარებული კვლევიდან გამომდინარე, პრობლემატურ (2) ზონაში სქელი დეტალის სიღრმეში სითბოს შესამცირებლად, ანუ თხევადი ბირთვის უგულებელსაყოფად საჭიროა ხელოვნურად მოხდეს დენის ეპიურების მეტად გაშლა, რაც შეამცირებს დენის სიმკვრივეს, შესაბამისად, გადნობის კერა სქელ დეტალში აღარ წარმოიქმნება.

1. სისქეების ფარდობის გავლენა კონტაქტური შედუღების ხარისხზე

1.1. თანაბარი სისქის ლითონების კონტაქტური შედუღების გამოკვლევა

წინამდებარე ნაშრომში ასახულია კონტაქტური შედუღებისას შენადული წერტილის ხარისხზე ზოგიერთ დომინანტ ფაქტორთა გავლენის გამოკვლევა, კერძოდ:

- სისქეების ფარდობის გავლენა კონტაქტური შედუღების ხარისხზე.

წინასწარი კვლევა მიმდინარეობდა როგორც არსებული თეორიული მონაცემებით, ასევე ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგების ანალიზით, რომლებიც ტარდებოდა სტუ-ს ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის

ფაკულტეტის მეტალურგიის, მასალათამცოდნეობისა და ლითონების დამუშავების დეპარტამენტის საშემდუღებლო წარმოების მიმართულების საცდელ-სასწავლო ლაბორატორიაში (კოსტავას 69, №10 კორ., მე-7 სარ.).

აღსანიშნავია, რომ ცდების ერთერთ კომპონენტს წარმოადგენდა სსსტც „დელტას“ მიერ წარმოდგენილი ნიმუშები, რომელთა გამოყენებაც დაგეგმილია ამ საწარმოს ერთერთი სახეობის პროდუქციის შექმნის ტექნოლოგიაში.

ჩატარებულმა წინასწარმა ექსპერიმენტებმა დაადასტურა ჩვენი წარმოდგენა იმაზე, რომ ძირითად პარამეტრებთან ერთად ყურადღება უნდა იქნეს მიქცეული, წერტილის ადგილმონაცვლეობაზე,

კონტაქტური შედუღების ძირითადი პარამეტრები, რომლებიც გავლენას ახდენენ ნაკერის სიმტკიცეზე შემდეგია:

I – დენი (შედუღების);

t – დრო (დენის მოქმედების);

P – დაწნევის ძალა.

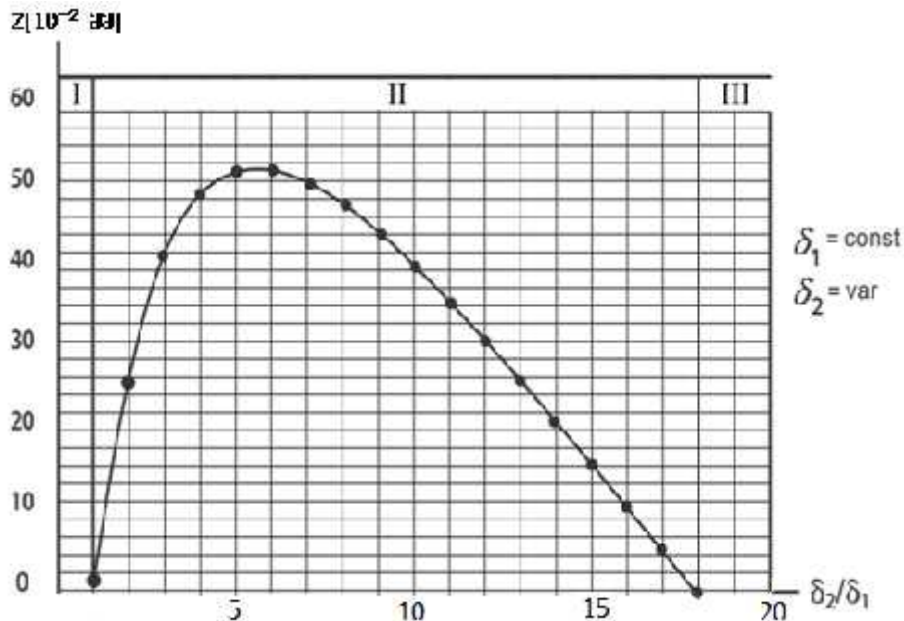
წერტილის ადგილმონაცვლეობის მოვლენის შესასწავლად განხილული იქნა შედუღების (ელექტროდთაშორისი) ზონის თბური პირობების თავისებურებანი. ცალკეულ ავტორებისგან ჰიპოტეზად მიღებული იქნა მოსაზრება: აღნიშნულ ზონაში მაქსიმალური ტემპერატურის, ანუ წერტილის ადგილმდებარეობად უნდა ჩაითვალოს ელექტროდთაშორისი მანძილის ადგილმდებარეობის ცენტრი.

გამომდინარე იქიდან, რომ თვით ელექტროდები გვევლინებიან როგორც დენმიმცვან, ასევე ცივი კონტაქტებიდან (ელექტროდი-დეტალი) სითბოს ამცილებელ ელემენტებად (მაგალითად, სპილენძი ასრულებს ორ ფუნქციას), მათ უნდა ახასიათებდეს:

1. კარგი სითბოგამტარიანობა;
2. პატარა ელექტროჩინალობა.

1.2. სხვადასხვა სისქის ლითონების კონტაქტური შედუღების გამოკვლევა

შემდეგი კვლევები ითვალისწინებდა სხვადასხვა სისქის ლითონების კონტაქტური შედუღების შესწავლას და წარმოდგენილია კვლევით მიღებული სათანადო დიაგრამა (ნახ. 1).



ნახ. 1. გრაფიკული დამოკიდებულება დეტალის სისქისა და წერტილის ადგილმონაცვლეობას შორის

სადაც: Z – მანძილი წერტილის სიმეტრიის ღერძს და ცხელ კონტაქტის სიბრტყეს შორის, ანუ თხევადი ბირთვის (წერტილის) გადაადგილება ცხელ კონტაქტიდან (გადახრა ხარისხისადმი წაყენებული კლასიკური მოთხოვნებიდან) - იანგარიშება;

μ_1, μ_2 – შესადულ დეტალთა სისქეები – იზომება;

აქედან ნათლად ჩანს, რომ ტექნოლოგიური თვალსაზრისით იკვეთება სამი ზონა: 1, 2, 3.

1 ზონა – უპრობლემა და კარგად არის შესწავლილი;

3 ზონა – ნაკლებპრობლემურია, კერძოდ, წერტილის ზომა საჭიროსთან შედარებით პატარაა, თუმცა იგი სიმეტრიულადაა განლაგებული ცხელი კონტაქტის სიბრტყის მიმართ;

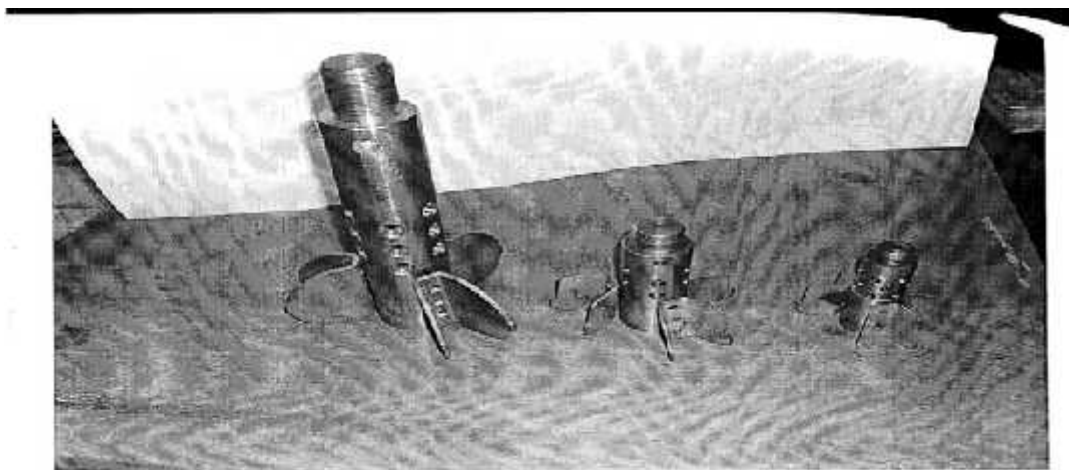
მე-2 ზონაში კი ფიქსირდება 2 პრობლემა:

- წერტილის ასიმეტრიული მდებარეობა და მისი ზომების შემცირება.

1.3. სსსტ „დელტა“-ს მიერ წარმოდგენილი ნიმუშების შედულების გამოკვლევა

თეორიული ანალიზი:

ჩვენს მიერ განხილულია სხვადასხვა სისქის წერტილოვანი შედულების შედეგების ლიტერატურული ანალიზი კლასიკური მეთოდების მიხედვით, სადაც თბური ბალანსის რეგულირება-ცხელი კონტაქტის ორივე მხარეს სითბოთა გათანაბრება არ იძლევა დამაკმაყოფილებელ შედეგებს, ამიტომ თეორიული ანალიზიდან გამომდინარე გადავწყვიტეთ ზემოთ აღნიშნული სითბოთა გათანაბრება ცალკეულ დეტალებში მოგვეხდინა დიამეტრალურად განსხვავებული მეთოდით, კერძოდ სქელი დეტალის მხრიდან სითბოს შემცირება. ამ თვალსაზრისის განხორციელების საშუალება მოგვცა სსსტ „დელტა“-ს მიერ წარმოდგენილი ერთერთი პროდუქციის კვანძების, უჟანგავი ფოლადისგან დამზადებული დეტალების АСИФ - 25 ტიპის მანქანაზე პირაპირა შედულება. მათგან ერთერთი წარმოადგენს ღრუცილინდროვან ფიგურას, რომლის შესადული ნაწილის სისქე რამდენჯერმე (3-ზე მეტით) აღემატება მეორე დეტალის სისქეს, რომელიც წარმოადგენს ფირფიტას (იხ. სურ.1)



სურ.1. სსსტ „დელტა“-ს მიერ წარმოდგენილი შესადული ნიმუშების ფოტო

დეტალთა გეომეტრიიდან გამომდინარე ამ მიზნის მისაღწევად შევარჩიეთ ერთი ელექტროდით წერტილოვანი შედულების მეთოდი ისე,

რომ შედუღების მანქანის მარჯვენა ელექტროდდამჭერში (ტუჩები) ჩამაგრდა წერტილოვანი შედუღებისათვის საჭირო მასალისა და კლასიკური გეომეტრიის ელექტროდი, ხოლო მანქანის მეორე (მარცხენა) მხარეს ჩამაგრებული იქნა შესადული კვანძის ცილინდრული ნაწილი (იხ. სურ.2)



სურ. 2. სსსტც „დელტა“-ს მიერ წარმოდგენილი ერთერთი შესადული ნიმუშის АСИФ - 25 ტიპის მანქანაზე პირაპირა შედუღების ფოტო



სურ. 3. სსსტც „დელტა“-ს მიერ წარმოდგენილი ერთერთი შესადული ნიმუშის მეტალოგრაფიული გამოკვლევის ფოტო



სურ. 4. სხვადასხვა სისქის ნიმუშთა კონტაქტური შედუღების დროს მიღებული სიმეტრიული წერტილი
მასალა – უჟანგავი ფოლადი სისქეები – $u_1= 3\text{მმ}$; $u_2= 7\text{მმ}$

ასეთმა მიდგომამ საშუალება მოგვცა სქელი დეტალის შედუღების მიმდებარე კვეთში (დეტალი-ელექტროდი) მნიშვნელოვნად შეგვემცირებინა სითბოს რაოდენობა. ამ პროცესს ხელს უწყობს ორი მექანიზმი:

ა) ცხელი კონტაქტის გაზრდილი ფართი (სიბრტყე) მნიშვნელოვნად ზრდის სქელი დეტალიდან სითბოს გადაცემას მიმდებარე დამჭერებში (ტუჩებში);

ბ) იგივე გაზრდილი საკონტაქტო ფართი თავისთავად იწვევს დენის ხაზების ძლიერ განშტოებას და სათანოდ ამ ცხელ კონტაქტში და დეტალის სიღრმეშიც დენის სიმკვრივის მკვეთრად შემცირებას, ესეიგი გამოყოფილი სითბოს ასევე მკვეთრად შემცირებას.

რა თქმა უნდა, პროცესისადმი ჩვენი ასეთი ლოგიკური მიდგომით, სქელი დეტალის სიღრმეში აღარ განვითარდებოდა მაღალი ტემპერატურა და არ გაჩნდებოდა გადნობის კერაც, ანუ შენადული წერტილის გადაადგილება სქელ დეტალში აღმოიფხვრებოდა.

ამავდროულად გაძლიერდა ცხელი კონტაქტის როლი, რომლის საკონტაქტო ფართი განისაზღვრებოდა ერთადერთი ელექტროდის მუშა ზედაპირით. როგორც ცნობილია ეს იანგარიშება თხელი დეტალის სისქიდან გამომდინარე მისაღები წერტილის საჭირო დიამეტრის მიხედვით და იანგარიშება შემდეგ კლასიკურ გამოსახულებათა ერთობლიობისაგან:

$$d_{\text{წერტ.}} = (0,9-1,4) d_{\text{ელ.}},$$

$$\text{სადაც } d_{\text{ელ.}} = 5\sqrt{\text{min.}}$$

დანარჩენი პარამეტრები შერჩეული იქნა საცხრილო მონაცემებით მასალის გვარობისა და სისქის მიხედვით, კერძოდ,

$$I_{\text{შედ.}} = (8-10)1000\text{ა.}, \quad t_{\text{შედ.}} = (5-7)\text{წმ}, \quad P_{\text{შედ.}} = (6-7) \text{კგ/მმ}^2$$

აღნიშნული მოქმედებით მივიღეთ დამაკმაყოფილებელი შედეგები. რაც შეეხება კლასიკური წერტილოვანი შედუღების შედეგების შემთხვევას, ის მოითხოვს ჩვენს მიერ ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტული შედეგების შემდგომ განვრცობას. ამის მისაღწევად საჭირო შეიქმნა სქელი დეტალის გავლენის შესწავლა შედუღების ხარისხზე, ანუ გარკვეულიყო სისქევალებადი დეტალის როლი შედუღების ზონაში მიმდინარე თბურ პროცესებზე, კერძოდ სითბოს აცილებასა და გამოყოფაზე. ამ თვალსაზრისით საჭირო გახდა შეგვესწავლა დენის ხაზების (ეპიურათა) ცვალებადობა დეტალის სისქის ცვალებადობისაგან დამოკიდებულებით, რაც შესაძლებელი გახდა წერტილოვანი შედუღების ბრტყელი ფიზიკური მოდელირებით.

სსსტც „დელტა“-ს მიერ წარმოდგენილი დეტალები შეეხება №2 ზონას, რომელიც საკმაოდ პრობლემატურია და მოითხოვს სპეციალურ გამოკვლევებს. ხოლო მე-3 ზონაში არსებული ნაკლოვანება შედარებით ადვილად მოსაგვარებელი უნდა იყოს შედუღების ძირითად პარამეტრთა (დენი, დრო, დაწნევის ძალა) მნიშვნელობათა რეგულირებით. უნდა მოხდეს მათი ექსპერიმენტით შერჩევა ან სათანადო გაანგარიშება, რომელიც არ არსებობს და მოითხოვს სათანადოდ დამუშავებას.

დღეისათვის ლიტერატურაში ასეთი ვარიაციები შესაძლებელია მხოლოდ თანაბარი სისქეების დეტალებისათვის, ხოლო სხვადასხვა სისქეების არსებობის პირობებში მხედველობაში მიიღება მხოლოდ მცირე (მინიმალური) სისქის პარამეტრები (გეომეტრია). ეს დასტურდება შედუღების დენის გამოთვლის ცნობილი მარტივი დამოკიდებულებით (კოჩერგინის) $I = k$.

სადაც δ -ში ნაგულისხმებია თხელი დეტალის სისქე.

ასევე შეზღუდულია მიდგომა ელექტროდთაშორისი ზონის თბური ბალანსის გამოყენებით დენის საანგარიშო კლასიკურ გამოსახულებაში.

$$I = \sqrt{\frac{GCT + 2tFTt}{0,24R}}$$

სადაც F არის ერთერთი დეტალის განივკვეთი და აქაც უგულებელყოფილია მე-2 დეტალის სისქე.

ამ ფაქტორის მხედველობაში მიღების აუცილებლობა გვიკარნახავს სისქეცვალებადი ნიმუშის თბური მექანიზმის დადგენილმა კანონზომიერებამაც.

ყოველივე აღნიშნულის გათვალისწინება აუცილებელია ჩვენი შემდგომი კვლევითი სამუშაოების ჩასატარებლად.

სამუშაო დაწყებული იქნა ზემოთწარმოდგენილ ნაკეთობათა კონსტრუქციის (იხ. სურ. 1) შესწავლით. იგი შედგება უქანგავი ფოლადის მასალის 4 ნაწილისაგან, და სამზადებელია სსსტც „დელტა“-ს მიერ. ადგილზე ვერ მოხერხდა მისი შედუღება ვერცერთი არსებული ხერხით და ამიტომ მათ მოგვმართეს დახმარების თხოვნით.

როგორც კვანძიდან ჩანს საქმე გვაქვს სხვადასხვა სისქის დეტალების შედუღებასთან, თუ მათ განვალაგებთ სისქეთა ფარდობის მნიშვნელობების ზრდის მიხედვით, მივიღებთ:

1. $k_1 = 7/3 = 2,33$
2. $k_2 = 6/2 = 3$
3. $k_3 = 5/1,5 = 3,33$

ამ მონაცემებიდან გამომდინარე ჩვენს წინაშე დასმული ამოცანის გადასაწყვეტად საჭირო გახდა შეგვესწავლა ერთნაირი მასალების განსხვავებული სისქის დეტალების კონტაქტური შედუღების ტექნოლოგიური პროცესის თავისებურებანი.

მეცნიერთაგან ამ საკითხის შესასწავლად განხილვის ინტერესს წარმოადგენს ხოლმის მიერ შემოთავაზებული თეორია წერტილოვანი

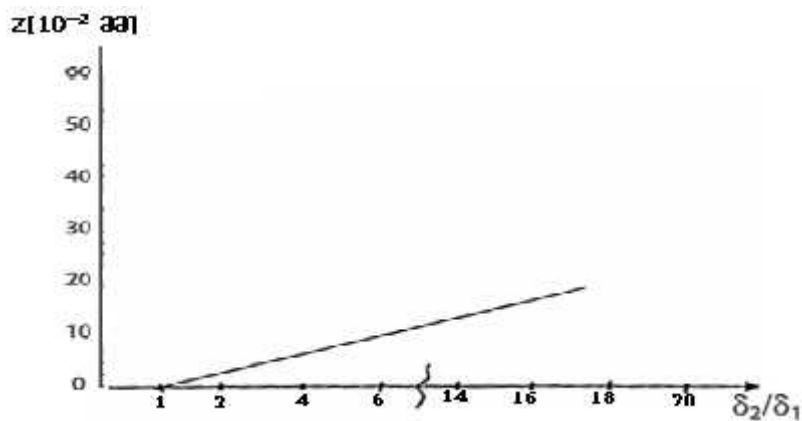
შედუღების ზონაში ტემპერატურის მაქსიმალური ადგილმდებარეობის შესახებ. კერძოდ ელექტროდთაშორის არსებული მაქსიმალური

ტემპერატურა უნდა მდებარეობდეს მათი მუშა ზედაპირებიდან უშორეს მანძილზე. ამ განმარტებიდან გამომდინარე:

- თანაბარი სისქის დეტალების შემთხვევაში ეს ადგილი უნდა იყოს მათ შორის არსებულ გარდამავალ, ანუ ცხელ კონტაქტში;

- სხვადასხვა სისქის დეტალების დროს კი, მათ სისქეთა ჯამური მნიშვნელობის შუაში (საშუალო არითმეტიკული).

ამ მიდგომის გრაფიკული წარმოდგენა იძლევა შემდეგ დიაგრამას (ნახ. 2).



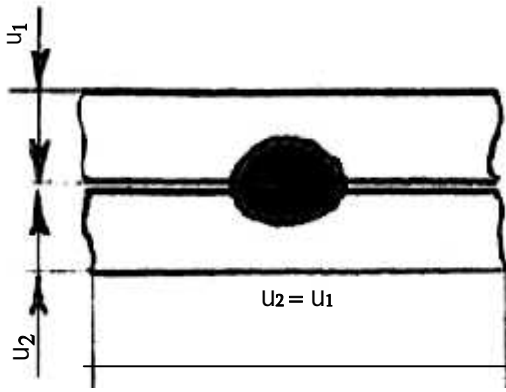
ნახ. 2. ხოლმის თეორიის გრაფიკული სახე

ცხადია, რომ ცხელ კონტაქტში ტემპერატურის შემცველობამ უნდა გამოიწვიოს შენადული ნაკერის ხარისხის გაუარესება, ანუ მისი სიმტკიცის შემცირება. შემდგომი კვლევის შედეგებმა გარკვეულ წილად აჩვენა, რომ ზემოთაღნიშნული მოსაზრება სამართლიანია მხოლოდ სისქეთა ფარდობის რაღაც მნიშვნელობამდე.

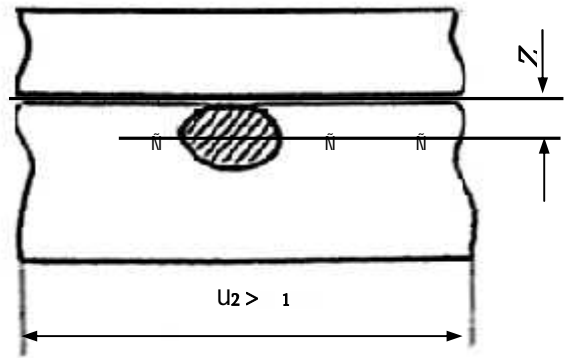
ზემოთ აღნიშნული მონაცემებიდან გამომდინარე, შესწავლილი იქნა ერთერთი სისქის ცვალებადობის შედეგად გამოწვეული წერტილის ადგილმონაცვლეობა (ნახ. 3 და ნახ.4), რომლის უგულებელსაყოფად, დღემდე დამუშავებულია სპეციალური ტექნიკური ხერხებით.

ელექტროდთა შორის თბური ბალანსის რეგულირება, სითბოთა გათანაბრება ცხელი კონტაქტის სხვადასხვა (ზედა, ქვედა) მხარეს, შესაძლებელია 2 გზით:

- თხელი დეტალის მხრიდან სითბოს გაზრდით;
- სქელი დეტალის მხრიდან სითბოს შემცირებით.



ნახ. 3. თანაბარი სისქის დეტალების შედულების ნიმუში ($Z=0$)



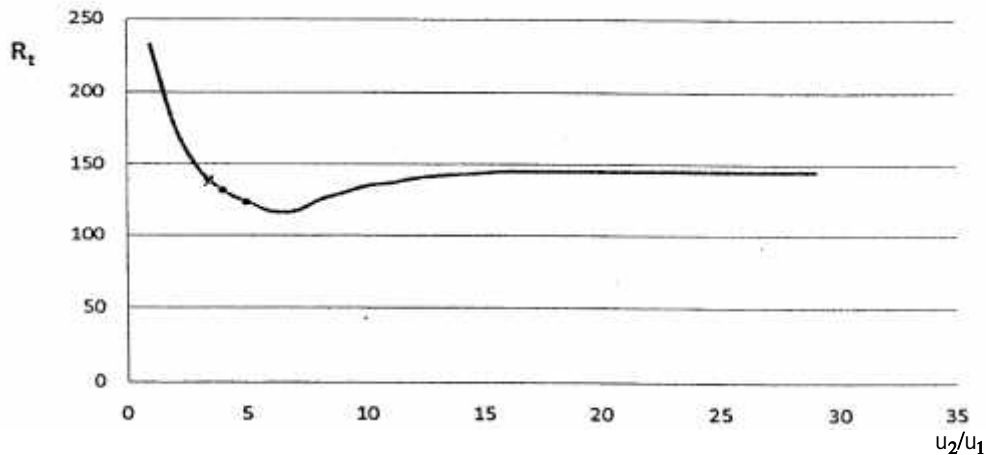
ნახ. 4. სხვადასხვა სისქის დეტალების შედულების ნიმუში ($Z>0$)

რადგანაც წერტილი წარმოიქმნება იქ, სადაც არის მაქსიმალური ტემპერატურა, მივიდნენ იმ დასკვნამდე, რომ თხელი დეტალის მხრიდან უნდა გაიზარდოს გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა. ამ პირობის შესრულება დღეისათვის მიღწევადია რიგ ავტორთა მიერ (ბალკოვეცი, ორლოვი, ჩულოშნიკოვი) შემდეგი შემოთავაზებული სქემებით:

- სხვადასხვა დიამეტრის ელექტროდთა გამოყენებით;
- თხელი დეტალის მხრიდან საელექტროდო კონტაქტში დიდი წინაღობის მქონე მასალის თხელი ქვესადების მოთავსებით;
- სხვადასხვა მასალის ელექტროდთა გამოყენებით;
- თხელი დეტალის მხრიდან მოქმედი ელექტროდის ბოლოში ჩაისვას ვოლფრამის სპეციალური კონსტრუქციის ბუნიკი (ცილინდრული).

ზემოთგანხილულ და აგრეთვე სხვა შესაძლო ხერხების ტექნოლოგიურ სქემათა ნუსხა მივაწოდეთ სისტემა „დელტა“-ს. მას, რა თქმა უნდა აღნიშნულ საწარმოს ბაზაზე, გააჩნია კონტაქტური წერტილოვანი შედულების დანადგართა საკმაოდ მძლავრი პარკი. მათ მიერ მოსინჯული იქნა ყველა შესაძლო პირობები, მაგრამ, სამწუხაროდ, არ იქნა მიღებული დამაკმაყოფილებელი შედეგები – ნაკერის სიმტკიცე ვერ გამოდიოდა დაბალი მონაცემების ზონიდან ($R_t = R_{t_{st}}/2$)

ამ გარემოებამ მიგვითითა შემდეგი კვლევების ჩატარების აუცილებლობაზე: პირველ რიგში მიკვლეული იქნა შენადული ნაკერის სიმტკიცეზე სისქეთა ფარდობის გავლენის სამიეხელი დამოკიდებულება.



ნახ. 5. სისქეთა ცვალებადობის გავლენა ნაკერის მექანიკურ თვისებებზე

აღნიშნულ დიაგრამაზე დაფიქსირებულია მათ მიერ წარმოდგენილი ნიმუშების სისქეთა ფარდობის სამი მნიშვნელობა:

$$k = \frac{u_2}{u_1} = 1) 7/3 = 2,3$$

$$2) 6/2 = 3,0$$

$$3) 5/1,5 = 3,3$$

რომელთა შესაბამისი სიმტკიცის მონაცემები ჯდება დაბალ მნიშვნელობათა ზონაში და ადასტურებს წარმოდგენილი მრუდის საიმედოობას.

სისქეთა ფარდობის, d_2/d_1 -ის გაზრდით ხდება ნაკერის სიმტკიცის R_t -ს შემცირება, რაც გამოწვეულია:

ა) სქელი დეტალისაკენ დაძრული წერტილის დიამეტრის სათანადო შემცირებით, რაც იწვევს ნაკერის დიამეტრის შემცირებასაც;

ბ) უფრო მეტიც, წერტილის დაძვრით სქელი დეტალის სიღრმეში გამოწვეულია მის და ცხელ კონტაქტის სიბრტყეთა დაცილება – ჩნდება Z (Z-ის ცნება – არის ორ სიბრტყეს: ცხელი კონტაქტისა და წერტილის სიმეტრიის შორის მანძილი).

მისი ანალიზური სახე წარმოდგენილია ქვემოთ, რაც მივიღეთ ექსპერიმენტების შედეგთა მათემატიკური აპროქსიმაციით.

$$Z = \frac{u_2}{u_1} \cdot \frac{1 - \dots_1 \cdot \frac{u_1}{u_2} \cdot \frac{d_2}{d_1} \left(\frac{D_1^2 + u_2 + d_2 \cdot D_1}{D_2^2 + u_1 + d_1 \cdot D_2} \right)}{1 + \frac{u_1}{u_2}}, \quad (1)$$

სადაც: Z – მანძილი წერტილის სიმეტრიის ღერძს და ცხელ კონტაქტის სიბრტყეს შორის, ანუ თხევადი ბირთვის (წერტილის) გადაადგილება ცხელ კონტაქტიდან (გადახრა ხარისხისადმი წაყენებული კლასიკური მოთხოვნებიდან) - იანგარიშება;

$u_1 u_2$ – შესადულ დეტალთა სისქეები – იზომება;

$\dots_1 \dots_2$ – შესადულ დეტალთა მასალათა კუთრი წინაღობები აიღება ლიტერატურიდან;

$d_1 d_2$ - შედუღების (მუშა) ელექტროდთა საკონტაქტო (შეხების) დიამეტრები (ცილინდრული ელექტროდებისათვის) – იზომება;

D_1, D_2 – შესადულ დეტალებში დენგამტარ კონუსთა დიამეტრები.

მიღებული შედეგების შედეგთა ანალიზმა – ძალიან დაბალი ხარისხის ნაკერმა, მიგვიყვანა აუცილებლობამდე გამოგვეკვლია დამოკიდებულებანი სისქეთა ფარდობის მნიშვნელობისა და ნაკერის სიმტკიცის შორის (ნახ. 5). ეს მონაცემებიც შეიძლება დაიყოს 3 ზონად.

დამკვეთის მიერ მიღებული და შედუღებული ნიმუშების მექანიკური გამოცდების შედეგები ჯდება მე-2 ზონაში ($\gamma / \gamma_1 = 2,3$ -დან – $3,3$ -მდე) ე.წ. პრობლემატურ ზონაში (2), რაც თავისთავად ადასტურებს ლიტერატურული მონაცემთა სისწორეს (იმედიანობას).

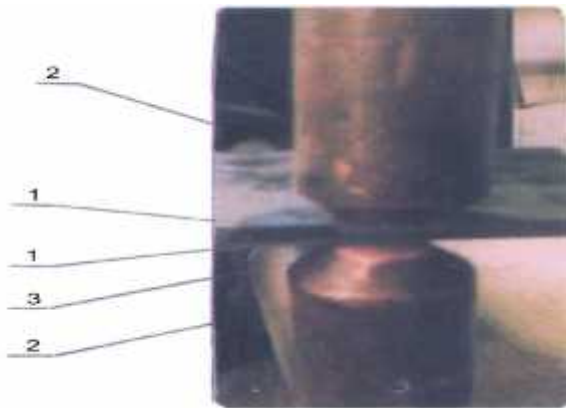
1.4. ნახევარწერტილოვანი შედუღება

სამუშაოს შემდგომ ეტაპზე დაგეგმილი იყო ნაკერის ხარისხის მკვეთრად გაუარესების მიზნით გამოკვლევა, რამაც მოითხოვა ექსპერიმენტით დადგენილიყო შენადული წერტილის ადგილმონაცვლეობის სისქეთა ფარდობისაგან დამოკიდებულების დიაგრამა, ანუ შედუღებულიყო

განსხვავებული სისქეთა გარკვეული რაოდენობა და დაფიქსირებულიყო თვითოეული მათგანის წერტილის ადგილმდებარეობა.

დღეისათვის ამ მიზნის მისაღწევად ფართოდ გავრცელებულია მეტალოგრაფიული კვლევა, რომლითაც შეიძლება განისაზღვროს წერტილის როგორც ადგილმდებარეობა, ასევე ჩატარდეს მისი სტრუქტურული და მეტროლოგიური ანალიზი. შესაძლებელია დადგინდეს წერტილის სიმეტრიის ღერძიდან მანძილის მნიშვნელობა ცხელი კონტაქტის სიბრტყემდე. ჩვენ შევჩერდით ახალ ხერხზე, რომლის განსახორციელებლად საჭირო იყო ელექტროდთაშორის სივრცეში, უფრო სწორად, შესადული სქელი დეტალების სიღრმეში გამდნარი ზონის, ანუ მაქსიმალური ტემპერატურის ადგილი.

აღნიშნული პრობლემის გადასაწყვეტად საჭირო იყო დადგენილიყო წერტილის ასიმეტრიულობის კანონზომიერება. ამ მიზნით ჩვენს მიერ შემუშავებულია წინააღმდეგობით შედუღების ნახევარწერტილოვანი მეთოდი (ნახ. 6).



ნახ. 6. ნახევარწერტილოვანი შედუღების სქემა

1 - შესადული დეტალები; 2 - ელექტროდები; 3 - ნახევარწერტილის ადგილი

ამან საშუალება მოგვცა მიგველო გრაფიკული დამოკიდებულება ერთერთი დეტალის სისქისა და წერტილის ადგილმდებარეობას შორის, რაც კარგად დაემთხვა ზემოთნაჩვენები თეორიული გაანგარიშების შედეგებს.

საექსპერიმენტოდ გამოყენებული იყო ნამზადები ფოლადის ფურცლისაგან შემდგეი სისქეთა ფარდობით

$$k = \frac{u_2}{u_1} (1 : 1; 2 : 1; 3 : 1; \dots 20 : 1)$$

ამასთანავე, ჩვენი პირობებიდან გამომდინარე:

$$u_1 = \text{const} \quad u_2 = \text{var}$$

შედეგის დამაჯერებლობის თვალსაზრისით გამოყენებულია თხელი ფურცლის სისქის რამოდენიმე ვარიანტი, კერძოდ

$$u_1 = 0,05\text{მმ}; 0,5\text{მმ}; 1,0\text{მმ}$$

$u_2 =$ საჭიროების მიხედვით ისე, რომ ფარდობის მნიშვნელობა ყოფილიყო მთლიანი რიცხვი 1-დან – 20-მდე და მეტი.

შედეგები და ამოცანები

შედეგები:

1. მიღებული დამოკიდებულება დამაჯერებლად ადასტურებს წინათ განხილულ დამოკიდებულებას შენადული ნაკერის სიმტკიცესა და ფარდობას შორის. წერტილის გადაადგილებით მცირდება ნაკერის დიამეტრი და შესაბამისად ნაკერის სიმტკიცეც, რომლის მიზეზთა წყაროა სისქეთა ფარდობის გაზრდა. განხილული თეორიული და ექსპერიმენტალური მონაცემები ადასტურებს სხვადასხვა სისქის დეტალთა შედუღებისას სისქეთა ფარდობის მკვეთრ გავლენას ნაკერის ხარისხზე.

ამრიგად, შეგვიძლია თამამად ვივარაუდოთ, რომ სხვადასხვა სისქეთა წერტილოვანი და გორგოლაჭოვანი შედუღებისას ნაკერის ხარისხზე დღემდე მიღებული ფაქტორების – ძირითადი პარამეტრების:

I – დენის, t – დროისა და P – დაწნევის მნიშვნელობათა გარდა საჭიროა მხედველობაში იქნას მიღებული სისქეთა ფარდობის რიცხვითი მნიშვნელობანი, როგორც ერთ-ერთი დომინანტი ფაქტორი.

აღნიშნული მოვლენა – ერთ-ერთი დეტალის სისქის ზრდით გამოწვეული წერტილის სიმეტრიულად განლაგების დარღვევა, ანუ მისი ღერძის რაღაც (Z) მანძილით დაძვრა სქელი დეტალის ცენტრისაკენ ცხელი კონტაქტის სიბრტყის პარალელურად იმ მდგომარეობამდეც კი, რომ წერტილის გეომეტრიას შეხებაც კი აღარ ჰქონდეს თხელ დეტალთან, იწვევს ნაკერის

ხარისხის მკვეთრად შემცირებას, კერძოდ სიმტკიცის რიცხვითი მნიშვნელობის თითქმის განახევრებას.

ყოველივე ეს აიხსნება ცხელ კონტაქტში გამდნარი ზონის არარსებობით, ე.ი. შეერთება ყალიბდება მყარ მდგომარეობაში (დიფუზია).

დადგენილია სისქეთა ფარდობის (1-დან 19-მდე) დიაპაზონში ორი კრიტიკული ზონა: პრობლემატური (2) და ნაკლებპრობლემატური (3).

პრობლემატური ზონა ვუწოდეთ იმიტომ, რომ ამ ზონაში თხევადი ბირთვი დაძრულია ცხელი კონტაქტიდან, რომლის უკან დაბრუნება შეუძლებელია. ძირითად პარამეტრთა (I , t და P) მნიშვნელობათა ვარიაციებმა სასურველი შედეგი არ გამოიღო. საჭირო გახდა შემდეგი კვლევების ჩატარება მისი მიზეზების დასადგენად.

ნაკლებპრობლემატური ზონა – ვუწოდეთ იმის გამო, რომ წერტილი, ანუ გადნობის ზონა, დაბრუნებულია საჭირო ადგილზე, ე.ი. $Z = 0$, ოღონდ მისი ზომები საკმაოდ შემცირებულია. ამ ხარვეზის გადაწყვეტა მიღწევადია პროცესის ძირითადი პარამეტრების მნიშვნელობათა ვარიაციით, კერძოდ დენისა და დროის მნიშვნელობათა სათანადოდ ზრდით და არსებული დამოკიდებულებების (კოჩერგინის) $I=k\delta$ განვითარებით სხვადასხვა სისქის მასალათა შემთხვევისათვის.

ამოცანები.

აღნიშნულმა რეალობამ სამუშაოს დღის წესრიგში დააყენა შემდეგ ამოცანათა გადაწყვეტის აუცილებლობა:

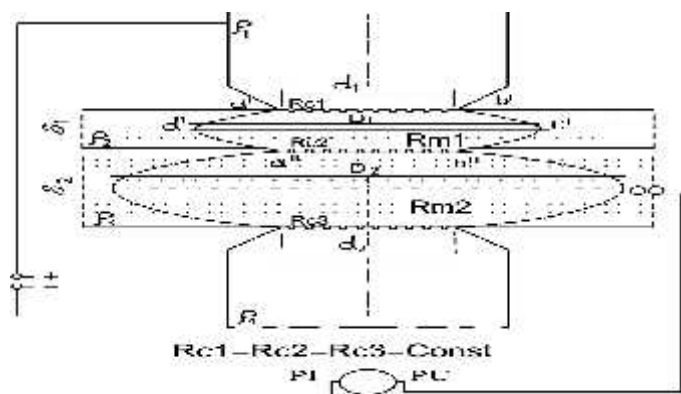
- შესწავლილ იქნას პრობლემატური ზონის აღმძვრელი ფაქტორები;
- დამუშავდეს მე-3 ზონისათვისაც შესაძლებლობანი მაღალი და სტაბილური ხარისხის ნაკერის მისაღებად.

2. შედეგების ზონის ფიზიკური მოდელირება. დენის გზის (ეპიურის) დადგენა

სქელი ნიმუშის აქტიური მოცულობის ლითონური წინააღობისა და კუთრი დენის ნიმუშის გეომეტრიულ და ფიზიკურ მონაცემებთან მათემატიკურ დამოკიდებულებათა გამოსაყვანად ჩატარებული იქნა

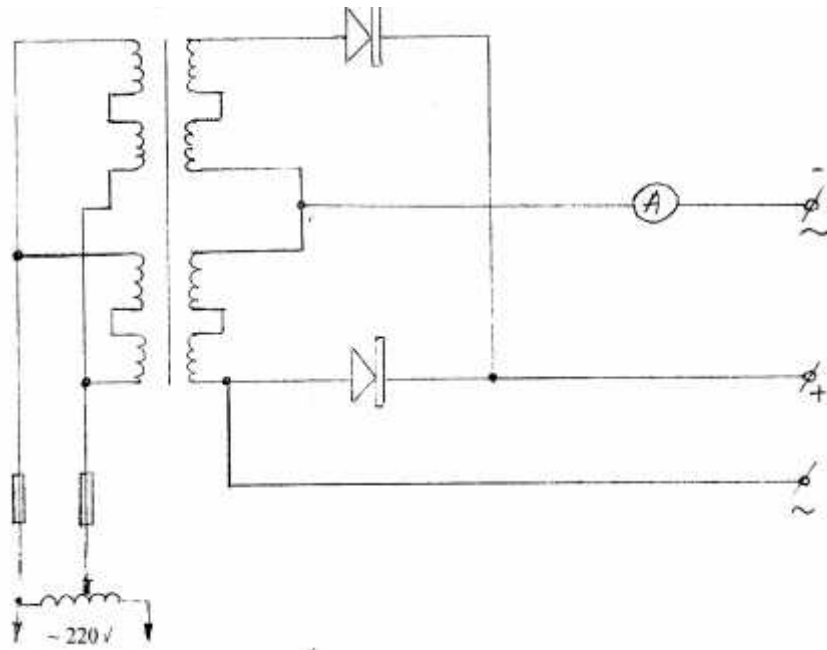
წინააღმდეგობით წერტილოვანი შედეგების ზონის ფიზიკური მოდელირება, რითაც გამოჩენილი იქნა შესაძლებელი ნიმუშთა სისქეებში დენის განაწილების ხარისხობრივი სურათი. მოდელირება ტარდებოდა ექსპერიმენტალურ სამუშაოთა ჩატარების მეთოდოლოგიის შესაბამისად. მიღებული შედეგები მუშავდებოდა მათემატიკურად შედეგების ზონის ფიზიკური ბრტყელი მოდელის საშუალებით (ნახ. 7).

მოდელის მასალად გამოიყენებოდა: უჟანგავი ფოლადის ფურცლები სისქით – 1 მმ, და ალუმინის შენადნობათა მიკროსისქის ფურცლები. მოდელში ჩაირთვებოდა ჩვენს მიერ აწყობილი სქემა (ნახ. 8), მუდმივი ან ცვლადი დენის წყარო ელექტრული მონაცემებით: დენის ძალა (0,3-10)ა, ძაბვა (12-20) ვ. და ისეთ მდგომარეობაში თავსდებოდა, რომ შესაძლებელი ყოფილიყო გარკვეულ წერტილებში მგრძობიარე ხელსაწყოებით გაზომილიყო ძაბვის ვარდნა. ამ მიზნით გამოიყენებოდა სპილენძის ორი ნემსისებრი კონტაქტი, რომელთა შორის დაშორება იყო უცვლელად 2 მმ-ის ტოლი. მასალის კარგი სითბოგამტარობის გამო ტემპერატურა მის ყველა წერტილში დამყარებული მდგომარეობისათვის შეიძლება მიღებულიყო ერთნაირად, ამგვარად იგებოდა დენის კიდურა ექვიპოტენციალური ხაზები ნიმუშის კვეთაში, შემდეგ კი დენგამტარი კონუსის დიამეტრები. შედეგები მოყვანილია ცხრილში 1 და დიაგრამის სახით (ნახ. 9).



ნახ. 7. წერტილოვანი შედეგების ზონის გამოკვლევა ბრტყელი ფიზიკური მოდელირების საშუალებით:

1. ელექტროდები; 2. შესადული დეტალები განსხვავებული სისქეებით u_1, u_2 ;
 d_1, d_2 ელექტროდთა დიამეტრები; ...1 – მოდელის ელემენტთა კუთრი წინააღმდეგობა;
 Rc_1, Rc_2, Rc_3 – გარდამავალ კონტაქტთა წინააღმდეგობანი; D_1, D_2 – დენის ხაზების
 ექსტრემალურ მნიშვნელობათა დიამეტრები



ნახ. 8. ბრტყელი მოდელის კვების ბლოკის ელექტრული სქემა

მოდელირება ხდებოდა სისქეთა სხვაობისა. მოდელი შესაბამისად ისე იყო განთავსებული, რომ მასში მუდმივი დენის გატარებისას შესაძლებელი ყოფილიყო მგრძობიარე ხელსაწყოს საშუალებით გარკვეულ წერტილებში გაგვეზომა ძაბვის ვარდნა ან დენის მნიშვნელობა.

მოდელის მასალის კარგი თბოგამტარობის გამო მისი ყველა წერტილის ტემპერატურა დადგენილი რეჟიმისათვის შეიძლება მიგველო თანაბარი მნიშვნელობის.

ნებისმიერი კონტაქტებით მოდელის ცალკეული უბნის წინააღმდეგობა მუდმივი მნიშვნელობის შემთხვაში იზომებოდა დენის სიმკვრივის ან ძაბვის პროპორციული სიდიდე ნებისმიერი სასურველი მიმართულებისათვის. შემდგომ ხდებოდა დენის გავლის კიდურა ხაზების აგება ნიმუშის კვეთის გასწვრივ, რის მიხედვით იზომებოდა დენგამტარ კონუსთა დიამეტრი (D). გაზომვათა შედეგების საფუძველზე დგებოდა ცხრილები და იგებოდა დამოკიდებულებათა დიაგრამები.

ანალოგიური გამოკვლევები ტარდებოდა აგრეთვე სხვა სამოდულო მასალათა გამოყენებით.

2.1. შესადული ნიმუშის მოდელის შერჩევა და შედეგები

შესადული ნიმუშის (სადაც გადის დენი,) ლითონური ელექტროწინაღობის ანგარიშს საფუძვლად დაედო ვ. არკადიევის მიერ რეკომენდებული წაკვეთილი კონუსის ფორმის სადენის ელექტროწინაღობის საანგარიშო ფორმულა

$$R_m = \frac{2 \dots u}{fdD}. \quad (2)$$

აღნიშნული გამოსახულება შედეგების ნიმუშის შემთხვევაში პრაქტიკულად არ გამოდგება, რადგან დაუდგენელია დენგამტარი წაკვეთილი კონუსის დიდი დიამეტრის (D) ანგარიშის მეთოდი.

როგორც მოდელის სქემიდან ჩანს დენის მოქმედების ქვეშ არსებული ლითონის მოცულობა ძირითადად განისაზღვრება დენგამტარი კონუსის დიამეტრით D, რომლის მნიშვნელობა, პავლე ჩულოშნიკოვის მონაცემებით:

$$D = (3-3,5)d,$$

სადაც d არის ელექტროდის საკონტაქტო ზედაპირის დიამეტრიც.

აღნიშნული გამოსახულება მიგვითითებს, რომ სისქეთა ფარდობის ცვალებადობამ ელექტროდის მუშა ზედაპირის დიამეტრის მუდმივი მნიშვნელობის შემთხვევაში არ უნდა გამოიწვიოს თხევადი ბირთვის ადგილმდებარეობის ცვლა, რაც, როგორც აღვნიშნეთ, პრაქტიკაში არ დასტურდება. აქედან გამომდინარე, მისი ანალიზური გამოსახულების მისაღებად ბრტყელი მოდელით აღწერილი იქნა ნიმუშის სისქეში დენის განაწილების ხარისხობრივი სურათი. მოდელირება ხდებოდა ექსპერიმენტულ სამუშაოთა ჩატარების მეთოდოლოგიის შესაბამისად. იცვლებოდა მხოლოდ ქვედა ნიმუშის სისქეები, მოდელი ირთვებოდა 10 ამპერის მუდმივი დენის წრედში, ძაბვა კი შეადგენდა 20 ვოლტს. ათვლის შედეგები შეტანილია ცხრილში 3, რომელთა გამოყენებით აგებულია სათანადო დიაგრამა (ნახ. 9).

ცხრილი 1. ნიმუშის სისქის გავლენა დენის ხაზების ექსტრემალურ განშტოებათა სიდიდეზე

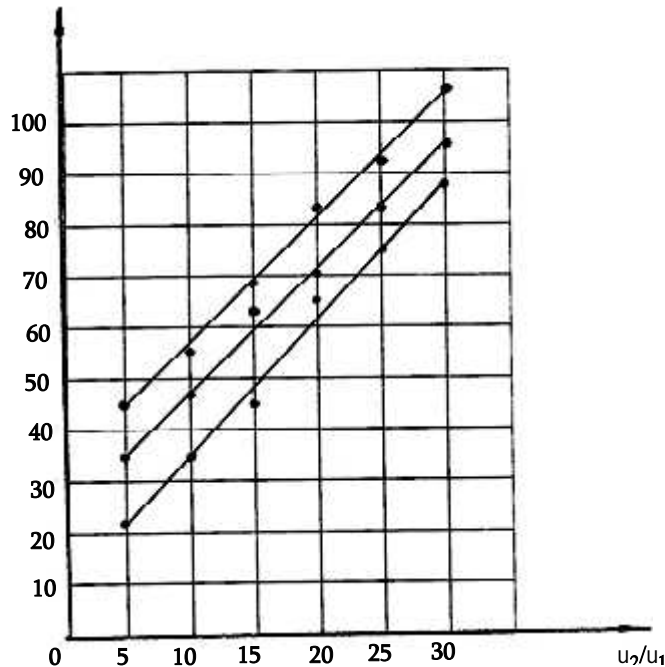
$\sigma_1 = \text{const}$

ნიმუშის სისქეები [მმ] d / σ_1	ელექტროდის დიამეტრი d [მმ]		
	5,00	15,00	25,00
	D[მმ]	D[მმ]	D[მმ]
5	22	35	45
10	34	47	55
15	45	64	69
20	66	70	84
25	75	84	92
30	88	96	107

მსგავსი გამოკვლევები ჩატარდა სხვა მასალებზეც, მაგალითად 0,05 მმ სისქის Ni1 მარკის ნიკელზე, 0,2 მმ სისქის სუფთა სპილენძზე და მიღებულ იქნა ყველა შედეგთა ერთნაირი ხარისხობრივი სურათი.

ექსპერიმენტთა მონაცემებმა დაგვანახა, რომ ნიმუშის სისქის ზრდა იწვევს დენგამტარი კონუსის შესაბამის ზრდას. ექსპერიმენტებით მიღებულ შედეგთა მათემატიკური აპროქსიმაციით ჩამოყალიბდა შემდეგი გამოსახულება: $D = 1,25d + 2,8$,

რომლის შეტანით წინა ფორმულაში (6) გვექნება: $R_m = \frac{4 \dots u}{fd(1,25d + 2,8u)}$. (4)



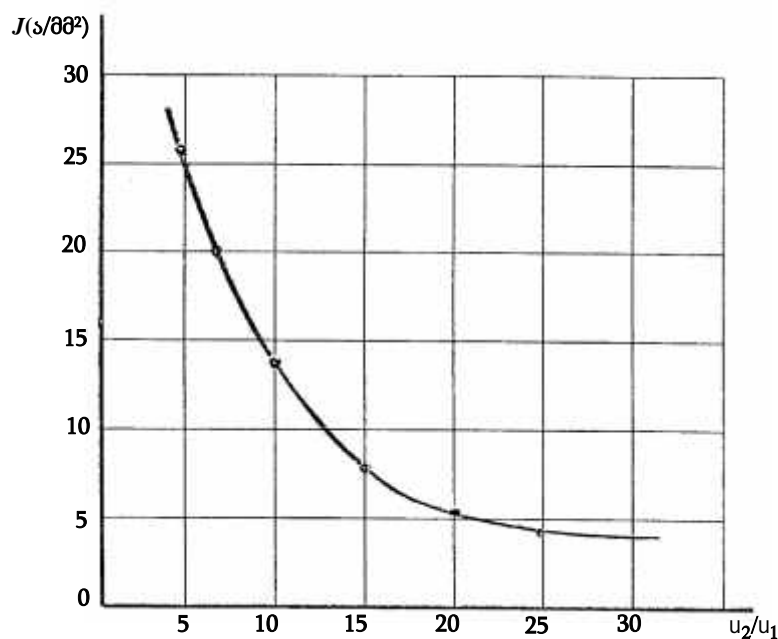
ნახ. 9. დენის ხაზების ექსტრემალურ განშტოებათა სიდიდის დიაგრამა.

ამრიგად, გარდაქმნილი გამოსახულება ვარგისია შედუღების პრაქტიკაში ინჟინრული გამოთვლებისათვის.

ჩატარებულმა ექსპერიმენტებმა აჩვენეს ასევე, რომ, სისქეთა ფარდობის მიუხედავად, თხელი ნიმუშის უცვლელი სისქის შემთხვევაში მასში დენგამტარი წაკვეთილი კონუსის დიდი დიამეტრი D_1 ფაქტიურად უცვლელია და იგი ყოველთვის მდებარეობს ნიმუშის სისქის ცენტრის ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე. ბოლოს შესწავლილი იქნა სისქეთა სხვადასხვა ფარდობისათვის ელექტრული დენის სიმკვრივის განაწილების ხასიათი სქელ ნიმუშში. ექსპერიმენტებით მიღებული რიცხვითი მონაცემებით (ცხრ. 2) აგებული იქნა დიაგრამა (ნახ. 10) საიდანაც ჩანს, რომ, სისქეთა ფარდობის ზრდის შესაბამისად სქელი ნიმუშის ცენტრალურ ნაწილში: 1. მცირდება დენის სიმკვრივე – J , რაც დამატებით ადასტურებს თხევადი ბირთვის ადგილმონაცვლეობის რეალური პროცესის გამოკვლევით დადგენილ კანონზომიერებას.

ცხრილი 2. ექსპერიმენტებით მიღებული რიცხვითი მონაცემები

u_2/u_1	5	10	15	20	25
$J(\text{ა/მმ}^2)$	26	14	8	6	4



ნახ. 10. სისქეთა ფარდობის გავლენა სქელი დეტალის ცენტრში დენის სიმკვრივის ცვალებადობაზე

ექსპერიმენტი ჩატარდა სტუ-ს ლაბორატორიაში (მე-10 კორ., მე-7 სარ. ოთახი 712). გამოყენებული იყო ფოლ. 3 მარკის ფოლადის სხვადასხვა სისქის დეტალები:

$$\text{I. } l_1 = 0,5 \text{ მმ, } l_2 = 10 \text{ მმ; II. } l_2 = 10 \text{ მმ, } l_1^1 = 3,0 \text{ მმ}$$

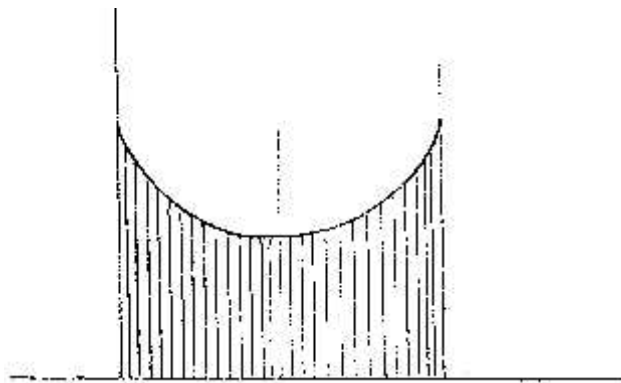
მიღებულ შედეგთა ერთობლიობა ცხადყოფს ერთერთი ნიმუშის სისქის ცვალებადობის მექანიზმის გავლენას წერტილის ადგილმდებარეობაზე.

შედეგთა ერთობლიობა:

1. მოდელირებით მიღებულია დენის ეპიურები,
2. ნახევარწერტილოვანი მეთოდით მიღებულია დამოკიდებულება: $Z=f(l_2/l_1)$,

2.2. „ცხელ კონტაქტში“ დენის სიმკვრივის განაწილების გამოკვლევა

თბურ პროცესებში მიმდინარე სრული წარმოდგენისათვის გაგრძელდა გამოკვლევები ცხელი (შედულებადი) კონტაქტის სიბრტყეში. შედეგებმა აქაც დაადასტურა, რომ კონტაქტის ცენტრში (ნახ. 11) ნებისმიერი სისქისთვის გვაქვს დენის სიმკვრივეთა მინიმალური მნიშვნელობანი, ხოლო მაქსიმალური მნიშვნელობანი თანაბრად ნაწილდება კონტურის პერიფერიებში (ნახ. 11); ამასთანავე აღსანიშნავია ისიც, რომ ნიმუშის სისქის ზრდა იწვევს დენის სიმკვრივის როგორც მაქსიმალურ, ასევე მინიმალურ მნიშვნელობათა შემცირებას.



ნახ. 11. სისქეთა ფარდობის გავლენა ცხელ კონტაქტში დენის სიმკვრივის განაწილებაზე:

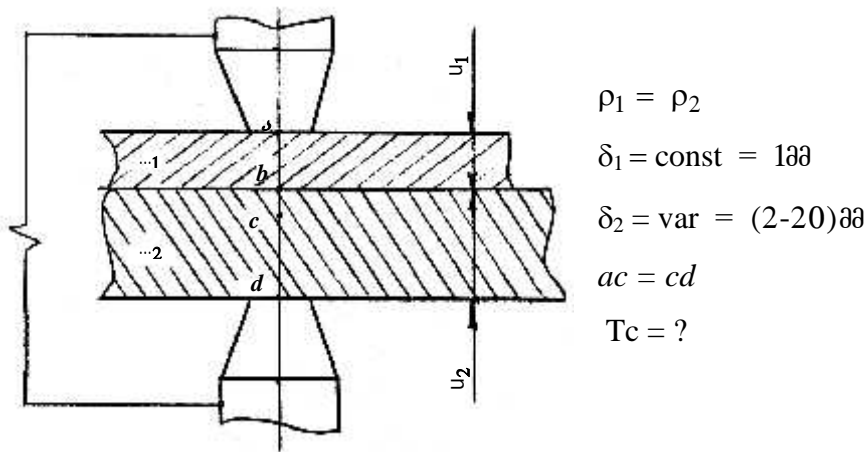
0 - ელექტროდის ღერძის შეხების წერტილი (ცენტრში);

1 - 1¹ - ელექტროდის პერიფერიები

2.3. სისქეცვლად დეტალებში ტემპერატურის ცვალებადობის გამოკვლევა

ჩვენი მორიგი კვლევის მიზანია დადგინდეს კონტაქტური შედუღების ძირითად პარამეტრთა, დაწნევის ძალის (P), დენის მოქმედი მნიშვნელობისა და შედუღების დროის ხანგრძლივობის გავლენა წერტილის ადგილმონაცვლეობაზე სხვადასხვა სისქეთა შემთხვევებისათვის. ექსპერიმენტი ტარდებოდა ნახ. 12-ზე წარმოდგენილი სქემის შესაბამისად ლაბორატორული ტიპის დანადგარზე მაქსიმალური დენით 20-50 ამპერზე.

ტემპერატურის მაქსიმალური მნიშვნელობანი აღირიცხებოდა დეტალების სისქეთა ჯამის საშუალო არითმეტიკულის ნიშნულზე, C წერტილში. შედუღების დროის რეგულირება ხორციელდებოდა დროის ელექტრონული რელეს მეშვეობით (0,1-20) წამის ფარგლებში. დაწნევის ძალის სარეგულირებლად გამოიყენებოდა ტვირთი ცვალებადი მასით (1-10) კგ-დე. ტემპერატურის გაზომვა ხდებოდა არაკონტაქტური თერმომეტრით („Intel current“) ლაზერული სამიზნით.



ნახ. 12. ტემპერატურის გაზომვის ექსპერიმენტის სქემატური გამოსახვა

საექსპერიმენტო მასალად გამოიყენებოდა ფოლადი ფოლ. 3. ამა-სთან, თხელი დეტალების სისქე არ იცვლებოდა, იგი ტოლი იყო 1მმ-ს, ხოლო სქელი დეტალისა კი იცვლებოდა (1-20)მმ-დე. გახურება ხდებოდა ნახევრადმუშა ელექტროდებით.

ექსპერიმენტის შედეგები შეიტანებოდა ცხრილებში, რომლის მიხედვითაც აგებული იქნა სათანადო გრაფიკები.

როგორც გრაფიკებიდან ჩანს დაწნევის ძალის ზრდა იწვევს ტემპერატურის შემცირებას, კლასიკური კანონზომიერების შესაბამისად, ხოლო ტემპერატურის მნიშვნელობანი წარმოადგენს გარკვეულ ზონას და მისი ადგილმდებარეობა დამოკიდებულია დეტალების სისქეთა ფარდობისაგან.

ანალოგიური ანათვლები იქნა მიღებული დენის მნიშვნელობათა ცვალებადობის პირობებისათვის და აიგო მისგან ტემპერატურის ცვალებადობის დიაგრამა სისქეთა თანაფარდობის მიხედვით.

როგორც ჩანს წარმოდგენილი დამოკიდებულებიდან, დენის მნიშვნელობათა მიუხედავად, ხარისხობრივი სურათი ტემპერატურის ადგილმონაცვლეობისა სისქეთა ფარდობის მიხედვით შეესაბამება კუთრი დენის განაწილების სურათს.

დროის ცვალებადობით ტემპერატურის ადგილმონაცვლეობა სისქეთა ფარდობის მიხედვით ასევე წარმოადგენს გარკვეულ ზონას.

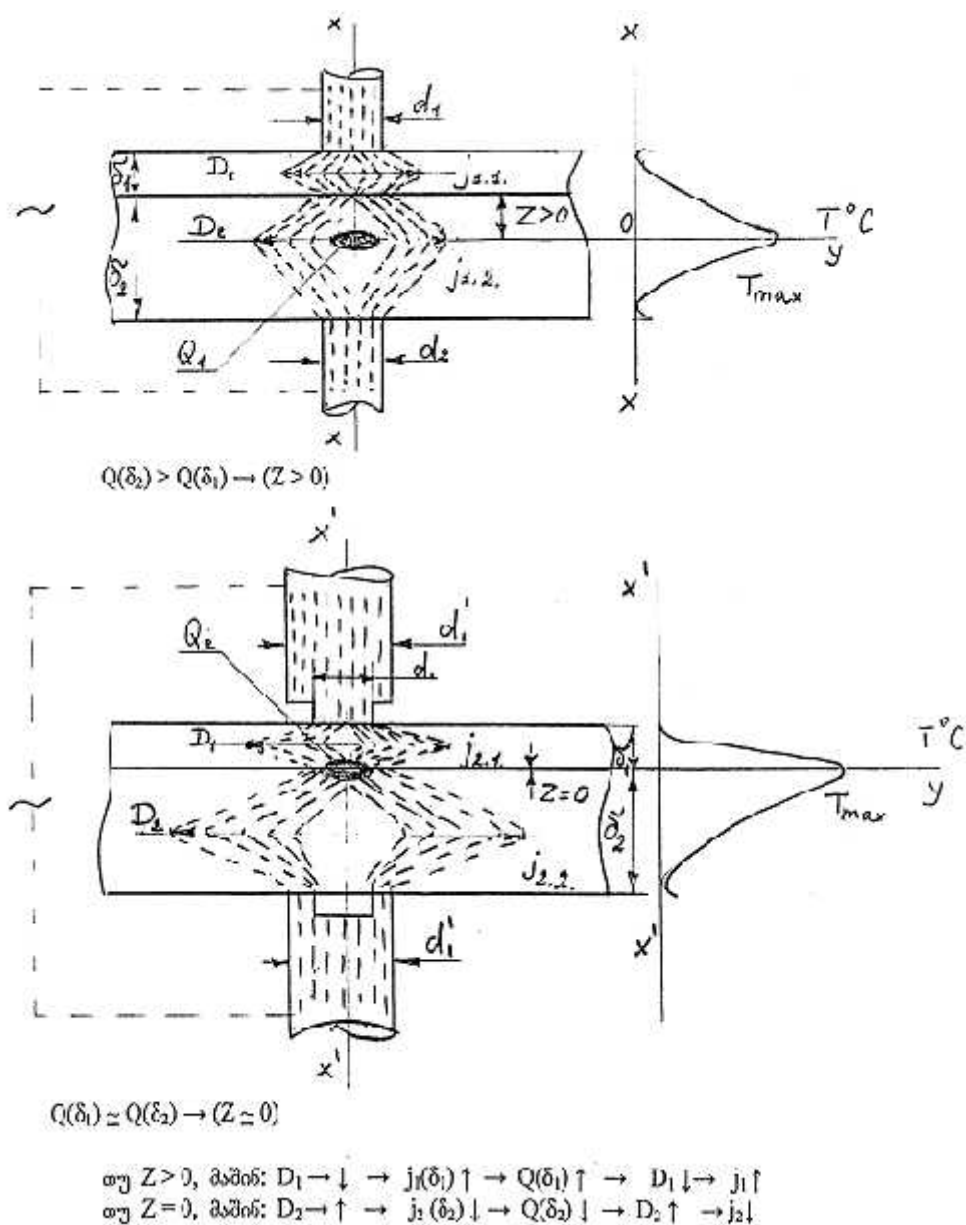
თუ გავანალიზებთ ყველა შემთხვევას, შეიძლება დავასკვნათ, რომ სხვადასხვა სისქეთა დეტალების კონტაქტური შედუღების დროს შესაძლო ხარვეზი (წერტილის გადაადგილება სქელ დეტალში), პროცესის ძირითად პარამეტრთა ცვალებადობით არ აღმოიფხვრება. საჭიროება მოითხოვს სხვა მეთოდების გამოყენებას, კერძოდ, ჩვენს მიერ შემუშავებული სქელი დეტალის კვეთში თბური მდგომარეობის ხელოვნურად რეგულირება დენის ეპიურათა სასურველი ვარიაციებით.

2.4. წერტილის ადგილის რეგულირება სპეციალური ელექტროდებით

საბოლოო ჩატარებული კვლევიდან გამომდინარე, პრობლემატურ (2) ზონაში სქელი დეტალის სიღრმეში სითბოს შესამცირებლად, ანუ თხევადი ბირთვის უგულებელსაყოფად საჭიროა ხელოვნურად მოხდეს დენის ეპიურების მეტად გაშლა, რაც შეამცირებს დენის სიმკვრივეს, შესაბამისად, გადნობის კერა აღარ წარმოიქმნება.

ანალოგიურის საწინააღმდეგოდ უნდა მოვიქცეთ თხელი დეტალის მიმართ, ანუ დენის ეპიურების შევიწროვება და სიმკვრივის გაზრდა.

პრაქტიკულად ამის განხორციელება შესაძლებელი გახდა ელექტროდთა მუშა ზედაპირების კვეთის ცვალებადობის მეშვეობით (ნახ. 13) (ელექტროდები თანაბარი დიამეტრებისა).



ნახ. 13. სხვადასხვა სისქეთა დეტალების წერტილოვანი შედუღების ელექტროდები

როგორც ნახაზიდან ჩანს, ელექტროდთა აღნიშნულმა ფორმაცვალებადობამ გამოიწვია დენის ეპიურათა ფორმაცვალებადობა. აღნიშნულმა მოვლენამ უნდა გამოიწვიოს ტემპერატურული დიაგრამის სახეცვალება-

დობა 1 და 2 შემთხვევისათვის და კერძოდ, თხევადი ბირთვის მაქსიმალური ტემპერატურის გადაადგილება სქელი დეტალის ცენტრიდან ცხელ კონტაქტში.

შენიშვნა: გამორიცხული არ არის ამ შემთხვევისათვის ადგილი ჰქონდეს წერტილის ზომის შემცირებას, ისევე როგორც ნაკლებად პრობლემატური ზონისათვის (3 ზონა), მაგრამ მთავარი მიზანი - წერტილის სიმეტრიულობის აღდგენა ($Z=0$).

შემდგომში საჭირო იქნება წერტილის ნორმალური ზომების მისაღებად სხვადასხვა სისქეთა შედუღებისათვის გამოყენებული იქნას შედუღების დენის საანგარიშო ფორმულის წინათ დადგენილი გამოსახულება, სადაც გათვალისწინებულია სისქეთა ფარდობა და ემატება თანაბარი სისქისათვის საჭირო დენი რიცხვითი მნიშვნელობის 30%-ით.

დასკვნა

ამრიგად, მოხდა შედუღების კრიტიკული ზონის ხელოვნურად გარდაქმნა ნაკლებკრიტიკულად და დენის არსებული საანგარიშო სიდიდის სათანადო გაზრდამ შესაძლებელი გახდა სხვადასხვა სისქეთა დეტალების წერტილოვანი შედუღების მაღალი და სტაბილური ხარისხის უზრუნველყოფა.

აღსანიშნავია, რომ მოცემული მეთოდი შეიძლება გამოყენებული იქნას არამარტო სხვადასხვა სისქეთა დეტალების, არამედ სხვადასხვა გვარობის მასალების (მათ შორის თანაბარი სისქის) წერტილოვან შედუღებისას.

შედეგები:

1. დამუშავებულია ნახევარწერტილოვანი შედუღების ორიგინალური ხერხი.

2. დადგენილია წერტილის ადგილმონაცვლეობის ექსპერიმენტით მიღებული დიაგრამა.

3. დადგენილია ცხელი კონტაქტის ჰორიზონტალური წერტილის სიმეტრიის ღერძსა და სიბრტყეს შორის მანძილის ცვალებადობის ანალიზური დამოკიდებულება სისქეთა ფარდობისაგან, აგებულია

სათანადო დიაგრამა და დატანილია მასზე ექსპერიმენტალურ მონაცემთა შედეგები (ცდომილება მათ შორის არ აღემატება 3%)

4. შედეგების ზონის ბრტყელი ფიზიკური მოდელის საშუალებით დადგენილია ელექტროდთა შორის ზონაში შესადულ დეტალებში დენის ეპიურებათა პარამეტრები (D1 და D2).

5. დადგენილია, რომ წერტილის ადგილმონაცვლება გამოწვეულია დენის სიმკვრივეთა სხვადასხვაობით შესადულ დეტალებში;

6. შემუშავებულია წერტილოვანი შედეგების სპეციალური ელექტროდი სიმეტრიული წერტილის მიღებისათვის სისქეთა ნებისმიერი ფარდობისათვის;

მიღებულ შედეგთა გათვალისწინებით შეგვიძლია თამამად ვივარაუდოთ, რომ წინათ აღნიშნული პრობლემატური ზონის ფარგლებში თბურ პროცესთა საჭირო მიმართულებით წარმართვისათვის არსებული კლასიკური შესაძლო მეთოდებისგან განსხვავებით ნავარაუდები იქნას მისგან დიამეტრალურად განსხვავებული მეთოდის შემუშავება. კერძოდ, სქელი დეტალის თბური მდგომარეობის შესუსტება ნაცვლად თხელის მხრიდან სითბოს რაოდენობის გაძლიერებისა (რაც იწვევს გარკვეულ პრობლემებს, ტექნიკურად რთულია, საჭიროებს დამატებით მასალას და ენერგიას). აღნიშნული თეზისის მისაღწევად აუცილებლად ჩავთვალებთ დეტალებში აღძრული სითბოთა სასურველი მიმართულებით სარეგულირებლად, სათანადოდ მოვახდინოთ მათში გამავალი დენის ეპიურათა ხელოვნური კორექცია ისე, რომ სქელ დეტალში შემცირდეს, ხოლო თხელში გაიზარდოს დენის კუთრი მნიშვნელობანი.

მეცნიერული სიახლეები:

- მიღწეულია სისქეთა ფარდობის ნებისმიერი შემთხვევისათვის წერტილოვანი შედეგების მაღალი და სტაბილური ხარისხის ნაკერის მიღების:
 - ა) პირობათა დადგენა და
 - ბ) ხელოვნურად მართვა და უზრუნველყოფა.

- აღნიშნული შედეგი დიამეტრალურად განსხვავდება დღემდე შემოთავაზებულ ღონისძიებათგან.

დასკვნა, ძირითადი შედეგები

1. თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევებით **დადგენილია, რომ:**
 - თუ წერტილოვანი შედუღების დეტალების სისქეთა ფარდობა აღემატება 3/1, მაშინ არსებული მეთოდებით შეუძლებელია დამაკმაყოფილებელი ხარისხის შენადული ნაკერის მიღება;
2. **დამუშავებულია** სხვადასხვა სისქეთა დეტალების შენადული წერტილის მდებარეობის განსაზღვრის ნახევრადმუშა ელექტროდით შედუღების მეთოდი;
3. **მიღებულია** შესადული დეტალების სისქეთა ფარდობისა და წერტილის ადგილმონაცვლეობის შორის გრაფიკული დამოკიდებულება;
4. **გამოკვლეულია** შენადული წერტილის ადგილმონაცვლეობის – სქელი დეტალის სიღრმეში გადაადგილების განმსაზღვრელი მექანიზმები და დამტკიცებულია, რომ **წერტილოვანი შედუღების ერთერთ ძირითად დომინანტ ფაქტორად გვევლინება სისქეთა ფარდობის მნიშვნელობანი;**
5. **გამოკვეთილია** სხვადასხვა სისქეთა დეტალების შენადული წერტილის ადგილმონაცვლეობის ტექნოლოგიური ზონები (1,2,3);
6. **მიღწეულია** არათანაბარი სისქის დეტალთა შედუღების ხარისხის მართვა;
7. შედუღების პროცესის თბური ბალანსის მათემატიკური ანალიზის შედეგად **გაუმჯობესებულია** საჭირო მოქმედი დენის საანგარიშო გამოსახულება, რომელიც გამოყენებული უნდა იქნეს არათანაბარ სისქეთა შემთხვევისათვის;
8. **გარკვეულია** ორზე მეტი დეტალის (პაკეტის) წერტილოვანი შედუღების ტექნოლოგიის სირთულის საორიენტაციო მექანიზმები, რომელიც საჭიროებს შემდგომ მეცნიერულ კვლევებს.

შედეგების გამოყენების სფერო

ზემოთხსენებული მეცნიერული სიახლე და მიღებული შედეგების გამოყენების სფეროდ მიგვაჩნია საქართველოში განთავსებული ის საწარმოები, სადაც გამოიყენება კონტაქტური (წერტილოვანი) შედუღება, მათ შორის სხვადასხვა სისქის დეტალების კონტაქტური შედუღება.

ეს საწარმოებია:

- სსსტც „დელტა“, ს/ს „თბილავიამშენი“, ს/ს „ელმავალმშენებელი“, ს/ს „ვაგონშემკეთებელი ქარხანა“, შპს „თამკერა“ და სხვ.

ცნობა დისერტაციის მოცულობისა და სტრუქტურის შესახებ.

დისერტაციის საერთო მოცულობა შეადგენს A4 ფორმატის (297 x210 მმ)

115 გვერდს, მათ შორის:

- ტიტულის, ხელმოწერების, საავტორო უფლების გვერდი, რეზიუმე(ორ ენაზე), შინაარსი ცხრილების ნუსხა, ანბანური საძიებელი, მადლიერების გვერდი - 15 გვ.;
- ძირითადი ტექსტი (შესავალი, ლიტერატურის მიმოხილვა, შედეგები და მათი განსჯა, დასკვნა) – 89 გვ.;
- გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა- 2გვ. დანართები - 9 გვ.

გამოქვეყნებული სტატიები

1. ა. სულამანიძე, გ. კახიშვილი. „წერტილოვანი შედუღების ნიმუშთა ნახევრადმუშა ელექტროდებით გახურება“. ჟურნალი „საქართველოს საინჟინრო სიახლენი“ 3, 2015წ.
2. ა. სულამანიძე, გ. კახიშვილი. „კონტაქტური შედუღების წერტილის ადგილმდებარეობის მართვა“. საგამომცემლო სახლის „ტექნიკური უნივერსიტეტის“ სამეცნიერო შრომების კრებული 4(498)-2015.
3. გ. კახიშვილი, ა. ნევეროვი, ა. მეტრეველი, ა. სულამანიძე. „წინააღმდეგობით სისქევალეზადი დეტალების შედუღებისას ძირითადი პარამეტრების გავლენა ტემპერატურაზე“. ჟურნალი „საქართველოს საინჟინრო სიახლენი“ 4, 2015წ.

ცნობა

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა 2015 წლის 83-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაში მონაწილეობის შესახებ.

კონფერენციაზე წარდგენილი თეზისების შინაარსი: „ კონტაქტური შედეგებისას ნახევარწერტილოვანი შედეგების მეთოდი“

Abstract

Welding plays one of the leading and most important roles in the modern industry. It represents unbreakable bond by means of interatomic cohesive forces and is one of the basic and unchanged engineering processes of modern industry. There are more than 150 types of welding, which are divided into 3 (three) basic groups according to kinds of used energy:

- thermal
- thermomechanical
- mechanical.

Contact welding belongs to thermomechanical group, when pressure force (P), along with influence of thermal energy participates in the process of welding, and along with applied current (I) and time (t) it is one of the basic dominant factors of effect on quality of contact welding.

Carried out studies have manifested the significance of other factors influencing the quality, in particular, effect of thicknesses ratio on quality of welding.

It is established that in case of welding of parts with uniform thicknesses there are virtually no problems, if basic components (I, t, P) are applied consistently. Both the parts and electrodes are made from uniform materials. As a result of abovementioned the received welded spot is reliable and represents high-quality welded junction.

Quality problems arise during welding of parts with non-uniform thickness, when ratio of thickness exceeds 3. Study of welding of parts with different thickness showed that from engineering viewpoint are singled out three welding zones, one of them is problematic that is expressed in asymmetric location of spot. Specialists offer us the following methods for solving this problem:

- use of electrodes with different diameters;
- placement of thin cushion of material with big resistance on electrodes' contact on the side of thin part;
- use of electrodes of different materials;
- placement of wolfram cylindrical ferrule of special design at the end of acting electrode on the side of thin part;
- use of explosive welding, which doesn't give optimum effect.

Studies carried out for efficient solution of mentioned problem give us an opportunity to establish the following:

- kinds of diagram (epures) of current in inter electrode zone;
- dependence of variability of distance between hot junction's horizontal plane and horizontal axis of symmetry point on thickness ratio;
- variability of current density in thick part due to location of welding spot;
- geometry of special electrodes necessary for receipt of special symmetrical point.

Weakening of thermal state of thick part was taken as a basis of obtained results instead of previously used approach, which meant increase in heat quantity

on the side of thin part. In order to attain the provisions of mentioned thesis we considered necessary to carry out corresponding artificial adjustment of diagram (epures) of current passing through parts for artificial control over desirable direction of heat induced in parts in such a way that specific value of current would decrease in this part, while in the thin part it has to increase that will respectively reallocate the welding spot from thick part to thin one.

- special electrode configuration is offered for welding of parts with different thickness.

Scientific novelties:

- For all cases of thickness ratio are reached
 - a) establishment of conditions and;
 - b) artificial management and provision of receipt of spot welding seam of high and stable quality.

Mentioned result is diametrically opposed to measures offered up to date.

Basic conclusions

1. According to theoretical and experimental studies **is established** that:
 - if thickness ratio for parts of spot welding exceeds 3:1 then the receipt of welded seam of satisfactory quality with the use of existing methods is impossible;
2. Method of welding with half-working electrode for determination of location of welded spot for parts with different thickness **is elaborated**;
3. graphical dependence between thickness ratio of welded pieces and location of welding spot is received.
4. Mechanisms of determination of location of welding spot – relocation of thick part towards the depth **are studied** and is proven that values of thickness ration should be considered as one of the dominant factors of spot welding.
5. Technological zones of location of welding spot for parts with different thickness **are revealed** (1, 2, 3);
6. Quality management of welding of parts with non-uniform thickness **is attained**;
7. As a result of mathematical analysis of thermal balance of welding process **is improved** the calculation formula (expression) for necessary effective current, which has to be used for cases of non-uniform thicknesses;
8. There **are identified** tentative mechanisms of difficulty of spot welding technology for more than two parts (the package), which need further scientific studies.