

თამაზ ჯალიაშვილი

**მინი მეტალურგიულ კომპლექსებში ნაკერიანი მილების
მილების ტექნოლოგიური პროცესების ოპტიმიზაცია**

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა - მეტალურგია

შიფრი - 0411

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

2019

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით თამაზ ჯალიაშვილის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს:

„მინი-მეტალურგიულ კომპლექსში ნაკერიანი მილების მიღების ტექნოლოგიური პროცესების ოპტიმიზაცია“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

..... 2019 წელი

ხელმძღვანელი: პროფესორი ო. მიქაძე

რეცენზენტი:_____

რეცენზენტი:_____

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2019 წ

ავტორი: თამაზ ჯალიაშვილი

დასახელება: მინი-მეტალურგიულ კომპლექსში ნაკერიანი მილების მილების ტექნოლოგიური პროცესების ოპტიმიზაცია

სადოქტორო პროგრამა - მეტალურგია

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა:

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

..... ავტორის ხელმოწერა

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

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

რეზიუმე

სადისერტაციო ნაშრომში „მინი-მეტალურგიულ კომპლექსებში ნაკერიანი მილების მილების ტექნოლოგიური პროცესების ოპტიმიზაცია“ ეხება ფოლადის გადნობიან საბოლოო პროდუქტის-მილების მიღებამდე ტექნოლოგიური პროცესების ოპტიმიზაციის საკითხებს. სამუშაოში გაერთიანდა ოთხ სხვადასხვა ტექნოლოგიურ საკითხზე ჩატარებული სამუშაოების შედეგები:

ფოლადსადნობი ღუმელიდან გამოშვებული ფოლადის ციცხვში დამუშავების მიზნით შევიმუშავეთ ბორისშემცველი წიდაწარმომქმნელი მინარევი, რომელიც საშუალებას იძლევა გაუმჯობესდეს დასამუშავებელი ლითონის ხარისხი, მლღობი შპატის ტექნოლოგიიდან ამოღებით გაუმჯობესდეს ეკოლოგიური მდგომარეობა და შემცირდეს ფოლადის თვითღირებულება სხვა მეტალურგიული პროდუქციის წარმოების ნარჩენების გამოყენების ხარჯზე. ექსპერიმენტალურმა დნობებმა აჩვენა, რომ მლღობი შპატის ბორისშემცველი მასალებით-კოლემანიტით შეცვლის შემთხვევაში წიდის თხევადდენადობა და დესულფურაციის პოტენციალი მატულობს ე.ი. შესაძლებელია მლღობი შპატის ჩანაცვლება. ამას გარდა წიდაში არსებული ბორის ანჰიდრიდიდან მოხდა მზა ფოლადში ბორის აღდგენა. ამასთან, ფოლადის დამუშავების პროცესში გამოყენებული ბორის მცირე რაოდენობა არ იწვევს შპატის გამოყენებისას გარემოში მწვავე ტოქციკურ ეფექტის ანუ ეკოლოგიურად პერსპექტიულს ხდის მისი გამოყენების შესაძლებლობას.

კირის შემცველობის დადგენილი რაოდენობა წიდაწარმომქმნელ მინარევიში განპირობებულია ციცხვში მაღალფუძიანი ღრმა რაფინირებისათვის საჭირო წიდის ფორმირების აუცილებლობით. ამან საშუალება მოგვცა ლითონში გოგირდის შემცველობა დაგვეყვანა 0,010-0,020%-მდე, რაც საწყის შემადგენლობასთან (0,035-0,040%) შედარებით მნიშვნელოვნად დაბალია და სასვსებით აკმაყოფილებს მსოფლიო სტანდარტების მოთხოვნებს.

ფოლადის ჩამოსხმის პროცესში ადგილი აქვს ფოლადის ჭავლის ატმოსფეროსთან შეხებას, რაც იწვევს მისი წყალბადითა და ჟანგბადით გამდიდრებას. ჩვენს მიერ შემუშავებულია საჩამოსხმო მოწყობილობა, რომელიც ფოლადის ჩამოსხმის პროცესში იცავს იტმოსფერული ჰაერის ზემოქმედებისაგან და ტექნოლოგიის სრულყოფის საშუალებას იძლევა. კერძოდ, მოწყობილობის წარმოდგენილი კონსტრუქცია, მის ტანში არსებული არხები, ერთის მხრივ ქმნის ინერტულ გარემოს ლითონის ზედაპირზე და იცავს ატმოსფერული ჟანგბადის ზემოქმედებისაგან, ხოლო მეორეს მხრივ ინერტული აირის არხებში მოძრაობის საშუალებით იცავს მას ტემპერატურული დარტყმებისაგან. ახანგრძლივებს მის მედეგობას, ამცირებს მიღებული ფოლადის ფურცელის თვითღირებულებას, უზრუნველყოფს სტაბილურად მაღალი ხარისხის ფურცელის მიღებას.

სწორნაკერიანი მილების წარმოება ნახშირბადიანი ფოლადების ფურცლის მაღალი სიხშირის დენით კიდების გახურებით და ურთიერთშეღობით ხორციელდება. წინასწარი გახურებისას მილის ზომაზე დაფორმებული ფოლადის ფურცლის ზედაპირის ტემპერატურა მერყეობს 550-680°C დიაპაზონში. ხშირად შედუღების შემდეგ მილის გრძივ ნადულში რჩება

წყალბადი, რაც ბზარების წარმოქმნის საშიშროებას ქმნის. ამას გარდა, გამაციებელი წყლის ტემპერატურის ცვალებადობა ზემოქმედებას ახდენს ნადულზე, არღვევს ფოლადის ნორმალურ აღნაგობას და შედუღების ადგილი დებულობს მსხვრევად სტრუქტურას.

შედუღების პროცესში ატმოსფერული ჰაერის ზემოქმედების შესამცირებლად ჩვენს მიერ შემუშავებულია ინერტული აირისა და ემულსიის ჭავლით ნადულის დაცვის მეთოდი. ჩატარებულმა ცდებმა გვაჩვენა, რომ 3,5 ატმ წნევის პირობებში სპრეერებით არგონის ჭავლით გაფრქვეული წყლიანი ემულსია ქმნის ღრუბელს, რომელიც ერთის მხრივ მილის შედუღების არეალს იცავს ატმოსფერული ჰაერის ზემოქმედებისაგან და მეორეს მხრივ უზრუნველყოფს გლინების გაციებას საჭირო ტემპერატურულ დიაპაზონში.

ბოლო თაობის მეტალურგიული აგრეგატები გამოირჩევიან ტექნოლოგიურიობით, ეკონომიურობითა და მაღალი თავსებადობით, რაც მნიშვნელოვანია საამქროების ტექნიკური გადაიარაღებისა და განახლების პროცესში. ტრადიციული და თანამედროვე ტექნოლოგიებით ფოლადის ფურცელის წარმოების სქემების შედარება თვალნათლივი მაგალითია იმ პროგრესისა, რაც მეტალურგიულმა მრეწველობამ ბოლო წლების განმავლობაში განიცადა. ძველი სქემის თანახმად, ფოლადის გამოდნობა, ბოყვებში ჩამოსხმა, სლიაბის ცეცხლით გაწმება, შემდგომი გახურებითა და ფურცელის გლინვის მთელი ტექნოლოგიური ჯაჭვი ორლილვიანი უწყვეტი ჩამოსხმის პირობებში სულ ორ ძირითად ოპერაციამდე დავიდა, გამოდნობა, ღუმელსგარეთ დამუშავება და ფურცელის ჩამოსხმა.

თუ ტრადიციული ტექნოლოგიის დროს მარტო ფუქცელსაგლინავი საამქროს სიგრძე 1 000-1 200 მეტრი იყო, ფურცელის უწყვეტი ჩამოსხმის საამქრო ფოლადსადნობი ღუმელით, საჩამოსხმო მანქანითა და ფურცელის რულონებად დახვევით სულ 90 მეტრის გაბარიტბის შენობაში ეტევა.

ჩვენს მიერ შემუშავებულია ტექნოლოგიური სქემა, რომელიც ითვალისწინებს ზემოთაღნიშნული ერთი მეტალურგიული კომპლექსის ფარგლებში ფოლადის გამოდნობის, ფურცლის ჩამოსხმისა და მილების წარმოების ტექნოლოგიური პროცესების ერთ საწარმოო სივრცეში გაერთიანებას, რის ანალოგიც მეტალურგიულ პრაქტიკაში არ არსებობს.

გარდა იმისა, რომ უწყვეტად ჩამოსხმული ფურცლის ხარისხი ყველა მაჩვენებლით აკმაყოფილებს არსებული სტანდარტების მოთხოვნებს, საამქროს ასეთი კომპლექსს გააჩნია ტრადიციული ტექნოლოგიით წარმოებასთან შედარებით სხვა უდაო უპირატესობებიც, კერძოდ:

- მავნე გამონაბოლქვების შემცირება 70-90%-ით.
- მშენებლობისას დაბალი კაპიტალური დანახარჯები, აგრეგატების ღირებულების, საწარმოო ფართების მოცულობის და ენერგომოხმარების შემცირების ხარჯზე.

Abstract

The dissertation thesis “optimization of technological processes to produce seam pipes in mini-metallurgical complexes” is about the issues of the optimization of the technological processes before producing final steel alloy products – pipes. The work incorporates the results obtained from the works performed for four different technological issues:

Boron containing slag-forming admixture allowing to improve the quality of the steel to be treated, as well as to improve environmental situation by removing fluorspar from the technology and to reduce the steel cost on the account of utilizing the wastes from the production of other metallurgical products was elaborated for the purposes of treating the steel produced from the steel furnace in the ladle. Experimental fuses showed that the fluidity of the slag and desulfurization potential grow when replacing the fluorspar by boron containing material – colemanite, meaning that the replacement of the fluorspar is feasible. Besides, boron in the ready steel was restored from boron anhydride in the slag. Also, small amount of boron utilized during the steel treatment process does not result in acute toxic effects in the environment when using spar hence making its utilization environmentally safe.

The established amount of lime content in the slag-generating admixture is conditioned by the necessity of the slag formation required for high-base deep refining in the ladle. This allowed us to bring sulfur content in metal to 0,010-0,20% which compared to the initial content (0,035-0,040%) is significantly low completely satisfying word standard requirements.

Steel jet is in contact with the atmosphere during the steel casting process causing its enrichment with hydrogen and oxygen. We have elaborated a casting device which protects from the impact of atmospheric air and allows to make the technology perfect. In particular, the presented structure of the device, the channels available in its body, create inert atmosphere on the metal surface protecting it from the impact of atmospheric oxygen, from one side, and protect from the temperature shots by means of inert gas movement in the channels, from the other side, hence prolonging its resistance, reducing the cost of the produced steel plate and providing stable production of the high quality plate.

Longitudinally welded pipes are manufactured by heating the edges of carbon steel plate at high frequency current and by mutual fusion. In initial heating the temperature of the surface of the pipe size shaped steel plate ranges within 550-680°C. Often after welding hydrogen remains in longitudinally welded part of the pipe leading to the danger of crack forming. Besides, change of the cooling water temperature impacts the welded parts, breaks normal structure of the steel and the welded point gets breakable structure.

The method for protecting the welded part with the inert gas and emulsion jet in order to reduce the impact of the atmospheric air during the welding process has been elaborated by us. The test run showed that under 3,5 atm pressure conditions, water containing emulsion sputtered and sprayed with argon jet creates a cloud which, from one side, protects the welded area of the pipe from the impact of the atmospheric air and, from the other side, provides roll cooling within the necessary temperature range.

Last generation metallurgic units are well known with their high technology, efficiency and high compatibility which is important for the technical rearmament and upgrade process of the plants. Comparison of the schemes of the steel plate production with conventional and modern technologies is a visible example of the progress observed in the metallurgy industry over the recent years. Steel melting, molding, slab burning with further heating and an entire technological chain of the plate rolling under the old scheme, in continuous two-roll casting have been drawn to just two main operations – melting, treatment outside the furnace, and plate casting.

If in conventional technology the length of just plate rolling plant was 1000-1200 m, the continuous plate casting plant with the steel melting furnace, casting machinery and plate rolling can fit into 90 m building.

We have elaborated the technological scheme aimed at incorporating the steel melting, plate casting and pipe manufacturing technological processes in one production space that has no analogue in the metallurgy practice.

Despite the fact, that the quality of the continuously casted plate satisfies the requirements of the current standards, such a plant complex has other obvious advantages over the production with the traditional technologies, namely:

- Reduction of hazardous emissions by 70-90%;

Low capital expenditure during construction due to reduction of the unit costs, production space capacity and electricity consumption.

შინაარსი

შესავალი	12
1. ლიტერატურის მიმოხილვა	15
1.1. მეტალურგიული წარმოების მიმართულებები	15
1.2. მეტალურგიული კომპლექსების განვითარების ტენდენციები	17
1.3. თანამედროვე ტექნოლოგიური პროცესები	18
1.4. ფოლადის უწყვეტი ჩამოსხმის ტექნოლოგიის განვითარება	22
1.5. ფოლადის ხარისხის გაუმჯობესების მოწინავე ტექნოლოგიები	24
1.6. წილებით ფოლადის დამუშავების აქტუალობა	29
2. ბორისშემცველი მინარევით ფოლადის დესულფურაცია და მიკროლეგირება	33
3. საჩამოსხმო მოწყობილობით ფოლადის ჩამოსხმის ტექნოლოგიის სრულყოფა	49
4. მიღების წარმოების პროცესში ნაკერის ინერტული აირით დაცვის ტექნოლოგიის შემუშავება	57
5. თხევადი ფოლადის მიღებიდან მზა მიღების წარმოებამდე გამჭოლი ტექნოლოგიის შემუშავება	67
6. მინი-მეტალურგიული კომპლექსის ტექნოლოგიური პროექტირება	74
დასკვნა	94
გამოყენებული ლიტერატურა	96

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. სხვადასხვა ტექნოლოგიური პროცესის მაჩვენებლების შედარება	23
ცხრილი 2. ფოლადის ქიმიური შემადგენლობა	36
ცხრილი 3. წიდაწარმოქმნელი მასალების რაოდენობა და შემადგენლობა	36
ცხრილი 4. წიდის სინჯების ქიმიური შემადგენლობა	39
ცხრილი 5. წიდების ფუძიანობა	40
ცხრილი 6. წიდების თხევადდენადობა	40
ცხრილი 7. ლითონის ტემპერატურა გაშვების წინ	41
ცხრილი 8. მასალების ხარჯი ტონა ფოლადზე	41
ცხრილი 9. მიღებული ფოლადის ქიმიური შემადგენლობა ...	42
ცხრილი 10. დესულფურაციის შედარებითი მაჩვენებლები ...	42
ცხრილი 11. №1 ტიპის სპრეერით გაფრქვევა	64
ცხრილი 12. №2 ტიპის სპრეერით გაფრქვევა	65
ცხრილი 13. საამქროს ძირითადი საწარმოო მაჩვენებლები	85
ცხრილი 14. პროდუქციის თვითღირებულების ანგარიში	86
ცხრილი 15. პროექტის ეკონომიკური მაჩვენებლები	88
ცხრილი 16. ატმოსფეროში გამონაბოლქვების მაჩვენებლები ...	90

სურათების ნუსხა

სურ. 1.	CT. 3CII ფოლადის მიკროსტრუქტურა მლღვობი შპატის გამოყენებისას	44
სურ. 2.	CT. 3CII ფოლადის მიკროსტრუქტურა კოლემანიტით დამუშავების შემდეგ	44
სურ. 3.	მილის შედუღების კვანძი	57
სურ. 4.	32 მმ დიამეტრის დეფექტული მილი	60
სურ. 5.	63 მმ დიამეტრის დეფექტული მილი	61
სურ. 6.	ბზარის სტრუქტურა 400 ჯერ გადიდებით	61
სურ. 7.	№ 1 და №2 ტიპის სპრეერები წყლიანი ემულსიის გასაფრქვევად	64

ნახაზების ნუსხა

ნახ. 1.	გლინზე ფოლადის ჭავლისა და სითბოს განაწილების სქემა	22
ნახ. 2.	ფხვნილოვანი მავთული	29
ნახ. 3.	ტრაიბ აპარატის საშუალებით მავთულის ციცხვში მიწოდება	30
ნახ. 4.	200კგ ტევადობის ინდუქციური ღუმელი	37
ნახ. 5.	ჰერტას ვისკოზიმეტრი	40
ნახ.6.	ორგლინიან აგრეგატზე ინერტული აირის მიწოდების სქემა	50
ნახ.7.	ფოლადის ფურცლის ჩამოსასხმელი ორგლინიანი აგრეგატი	51
ნახ. 8.	საჩამოსხმო ჭიქა ინერტული აირის სადინარი არხებით	52
ნახ. 9.	გლინების ზედაპირზე დატანილი ჩაღრმავებები	54
ნახ.10.	გამყარებული გარსის ზედაპირის ცვლილება	55
ნახ. 11.	არგონით ნადულის დაცვა უჟანგავი ფოლადის მილების წარმოებისას	60
ნახ.12.	ფოლადის მილების წარმოებისას ნაკერის არგონით დაცვა	62
ნახ. 13.	კონუსური გაფრქვევა	63
ნახ. 14.	ბრტყელი გაფრქვევა	63
ნახ. 15.	ნაკერის დაცვის მოწყობილობის სქემა	65
ნახ. 16.	ფოლადის ფურცლის წარმოების ტრადიციული სქემა	68
ნახ. 17.	ნაკერიანი მოლების წარმოების ტექნოლოგიური სქემა	69
ნახ. 18.	თხევადი ფოლადიდან მილების წარმოების ტექნოლოგიის სქემა	70
ნახ. 19.	ფოლადის ფურცლის ჩამოსხმის CastStripe აგრეგატის ტექნოლოგიის სქემა.....	72
ნახ. 20.	ფოლადსადნობი საამქროს ტექნოლოგიური სქემა	75
ნახ. 21.	მილსაგლინავი წარმოების ტექნოლოგიური სქემა	79

შესავალი

ჯერ კიდევ წინა საუკუნის 70-იანი წლებიდან დაიწყო განვითარებულ ქვეყნებში შავი მეტალურგიის სტრუქტურული გადაიარაღება და მსხვილი მეტალურგიული კომბინატების რაოდენობის შემცირება. მათი ადგილი დაიკავა მინი ქარხნებმა ე.წ. მინი-მეტალურგიულმა კომპლექსებმა, რომლებიც ნედლეულის სახით იყენებენ ჯართს ან მის შემცველებს. აღსანიშნავია, რომ მეორე ათასწლეულის ბოლოსათვის მსოფლიოში დაგროვდა დაახლოებით 30 მილიარდი ტონა ფოლადის ჯართი და მისი გადამუშავების ტექნოლოგიები ამ პერიოდის მანძილზე განუხრელად ვითარდებოდა.

სადისერტაციო თემა ეხება ფოლადის წარმოების ტექნოლოგიური პროცესების ოპტიმიზაციას, ფოლადის ხარისხის გაუმჯობესებას და თანამედროვე მეტალურგიული კომპლექსების ტექნოლოგიური პროექტირების საკითხებს.

მსოფლიო მეტალურგიული წარმოების პრაქტიკის ანალიზი აჩვენებს, რომ მეტალურგიული ტექნოლოგიების, ახალი და გაუმჯობესებული ძირითადი აგრეგატების და სხვა საშუალებების განვითარებასთან ერთად განვითარება ჰპოვა ფოლადის ღუმელსგარეთ დამუშავებამ, ჩამოსხმის პროცესის სრულყოფამ კი საგრძნობლად გაამარტივა ტექნოლოგია.

სადისერტაციო თემაზე მუშაობისას კვლევების მიზანს წარმოადგენდა საქართველოში არსებულ და ახალ მეტალურგიულ კომპლექსებში თხევადი ფოლადიდან საბოლოო პროდუქციის და მ.შ. ნაკერიანი მილების მილების ტექნოლოგიური პროცესების ოპტიმიზაცია.

სადისერტაციო თემა მოწოდებულია ნაკერიანი მილების წარმოების პროცესის ყვალა სტადიაზე ტექნოლოგიის გაუმჯობესებას, სრულყოფას და ოპტიმიზაციას.

კერძოდ: თანამედროვე ფოლადსადნობ საამქროებში დაბალი(0,010-0,015%) გოგირდის შემცველობის ფოლადის მისაღებად დესულფურაციის პროცესს ღუმელსგარეთ მაღალფუძიანი $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ სისტემის წილებში მლღვობი შპატის(CaF_2)გამოყენებით ახორციელებენ, რომელიც წიდის

ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებზე ზემოქმედების მოკლე პერიოდით, მაღალი ტოქსიკურობითა და ფასით გამოირჩევა. სამუშაოში მოცემულია ფოლადის მლღობი შპატის(CaF₂) მეორადი ალუმინის ნარჩენებით და ბორისშემცველი მინარევებით ჩანაცვლებით დესულფურაცია-რაფინირების პროცესების გაუმჯობესების საკითხები.

თემა ორიენტირებულია:

- ფოლადის ხარისხისა გაუმჯობესებაზე და მიღების თვითღირებულების შემცირებაზე;
- შემუშავებული ტექნოლოგია უზრუნველყოფს ენერგოდამზოგავ და ეკოლოგიურად სუფთა საწარმოო პროცესებს;
- გაჩერებული-მიტოვებული სამრეწველო ობიექტების ბაზაზე ახალი თანამედროვე მეტალურგიული კომპლექსების განთავსების შესაძლებლო- ბების კვლევასა და მათი ადაპტაციის რეკომენდაციებს.

სადისერტაციო თემის მეცნიერული სიახლე: შემუშავებულია ციციხვიდან

ფოლადის ჩამოსხმის პროცესში თხევადი მენისკის ჟანგბადისაგან დაცვის ცეცხლგამძლე მასალის ინოვაციური მოწყობილობა, რომელიც ქმნის ინერტულ გარემოს, იცავს საჩამოსხმო ჭიქას დაზიანებისაგან და ახანგრძლივებს მის მედეგობას;

- მიღების ნაკერის ინერტული აირით დაცვის მეთოდის შემუშავება. ნახშირბადიანი ფოლადის ნაკერიანი მიღების წარმოებისას დაფორმებული შტრიფისის შელღვობის არეალში ადგილი აქვს ფოლადის ატმოსფერული ჰაერით დაჟანგვას. რის აღსაკვეთადაც შეიქმნა ინერტული აირის ჭავლით გაფრქვეული 5,0%-იანი ზეთის ემულსის ღრუბელით ნადულის დაცვის ტექნოლოგია.

- შეიქმნა ახალი ტექნოლოგიური სქემა, რომლის პრაქტიკული რეალიზაციაც უკვე დაწყებულია. აშენდა მიღების წარმოების საამქრო, რომელიც პირველი ეტაპია ერთ საწარმოო კომპლექსში ფოლადის გამოდნობის, საჩამოსხმო მანქანაზე ფურცელის ჩამოსხმის და შედუღების ტექნოლოგიით ნაკერიანი ფოლადის მიღების წარმოებისა.

თემის პრაქტიკული მნიშვნელობა: მლღობი შპატის უფრო იაფი ნედლეულით,

ბორისშემცველი მინარევებით ჩანაცვლება, წარმოების ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესება, ფოლადის ხარისხის გაუმჯობესება;

- მილების წარმოების პროცესში ნაკერის ინერტული აირით დაცვით წუნისა და მე-2 ხარისხების მილების რაოდენობის შემცირება;

- ახალი საჩამოსხმო მიწყობილობის გამოყენებით უმჯობესდება ინერტული აირით შექმნილი გარემო და საჩამოსხმო ჭიქების მედეგობის გაზრდით მცირდება თვითღირებულება;

- ახალი ტექნოლოგიური სქემა თხევადი ფოლადიდან ფურცელის ჩამოსხმისა და პირდაპირ მილების წარმოებისა უზრუნველყოფს საწარმოს მშებლობისათვის კაპიტალდაზანდების 50%-ით შემცირებას და 70 აშშ დოლარით ტონა პროდუქციაზე თვითღირებულების შემცირებას.

1. ლიტერატურის მიმოხილვა

1.1. მეტალურგიული წარმოების მიმართულებები

მეტალურგიული წარმოების პრექტიკაში თხევადი ფოლადის მიღების სამი მიმართულება ჩამოყალიბდა:

- უკოქსო მეტალურგიის მიმართულება;
- საშუალო და პატარა ბრძმედის ღუმელების გამოყენებით;
- თანამედროვე ელექტროფოლადსადნობი აგრეგატების გამოყენებით.

პირველი მიმართულება. უკოქსო მეტალურგიული პროცესებიდან განსაკუთრებული პოპულარობა მოიპოვეს MIDREX, COREX და FINEX პროცესებმა.

MIDREX პროცესით ე.წ. მეტალიზებული „გუნდები“ და რკინამადნური „გუნდები“ მიიღება, ხოლო COREX პროცესით თხევადი თუჯი დნება პირდაპირ რკინის მადნის კონცენტრატიდან.

FINEX პროცესი წვრილფრაქციული მადნებიდან კოქსის გარეშე თუჯის მიღების ტექნოლოგიაა, რომელიც ბრძმედის ღუმელთან შედარებით ნაკლებ კაპდაბანდებებს მოითხოვს.

მეორე მიმართულება ღუმელებში რკინა-მადნური აკატიშებისაგან თუჯის და შემდგომ ეტაპზე LD კონვერტორში ფოლადის მიღება. ამ მიმართულების უპირატესობა მდგომარეობს ბრძმედის აირის (რომელიც თუჯის დნობის პროცესში წარმოიქმნება) თბოტევადობის გამოყენებაში თბოელექტრო-სადგურისათვის. 1.0 მლნ. ტონა/წ წარმადობის ბრძმედის ღუმელის აირს შეუძლია 50-60 მვტ სიმძლავრის ელ. ენერჯის გამომუშავება.

მესამე მიმართულება ეფუძნება ჯართისა და მისი შემცვლელისაგან ელექტროფოლადსადნობ ღუმელში ფოლადის მიღებას. თანამედროვე ღუმელებში დნობებს შორის ჯართის ჩატვირთვა იწყება წინა ნადნობიდან 15-20% თხევადი ფოლადის ჩატოვებულ ე.წ. „ჭაობზე“, რაც ღუმელში სტაბილური ელ. რკალის საშუალებას იძლევა და ამცირებს გადნობის პერიოდს. დნობა მიმდინარეობს აქაფებული წიდის არეალში, ხოლო ფოლადის გამოშვება ხდება ერკერული მოწყობილობის საშუალებით, რომელიც წიდის ციცხვში მოხვედრას

აღკვეთს [1].

კონსტრუქციულად მეტალურგიული კომპლექსებისათვის დამახასიათებელია რიგი ახალი ტექნოლოგიური პროცესებისა და აგრეგატებისა, რომლებისათვისაც პირველად ასეთი ტიპის საწარმოებისათვის მოხდა და საერთო ტექნოლოგიურ ციკლში მაღალი დონის ფუნქციონალური შეთანწყობით ხასიათდება.

ასეთია ფოლადის ლუმელგარეშე დამუშავება, ანუ მისი საბოლოო შემადგენლობამდე დაყვანის მოდული, რომელიც უზრუნველყოფს ციცხვში თხევადი ფოლადის განჟანგვას, ქიმიური შემადგენლობის გასაშუალებას, დესულფურაციას, დეგაზაციას, მოდიფიკაციას და ჩამოსხმის წინ საჭირო ტემპერატურამდე გაცხელებას.

ფოლადის მიღების სამივე მიმართულებას, გამომდინარე პროდუქციის ნომენკლატურისა, სხვადასხვა ტიპისა უწყვეტი ჩამოსხმის დანადგარი და შესაბამისი საგლინავი დგანია გამიზნული. ამას გარდა მეტალურგიული კომპლექსი მოიცავს წარმოებისათვის საჭირო სხვა ინფრასტრუქტურულ ობიექტებსც, როგორებიცაა: ნედლეულის საწყობები, ელექტრო და მექანიკური სახელოსნოები, ელ. ქვესადგური, ადმინისტრაციული და პერსონალისათვის განკუთვნილი სათავსოები და სხვ.

ზემოთაღნიშნული სამი მიმართულებიდან პირველი და მეორე ტიპის საწარმოების მშენებლობა შესაძლებელია მხოლოდ ახალ სამშენებლო მოედანზე, რადგანაც საქმე გვაქვს დიდი-მაშტაბური აგრეგატების განთავსებაზე და თუ გავითვალისწინებთ თანამედროვე მიდგომებს, მათი განთავსება უნდა მოხდეს მადნების მოპოვების რეგიონში მაინც თუ არა, უშუალოდ მათ სიახლოვეს. ეს ტენდენცია მსოფლიო მეტალურგიაში მიმდინარე პროცესებმა განსაზღვრა, ბაზრებზე მკაცრი კონკურენციის პირობებში გადაზიდვებზე ხარჯების ოპტიმიზაციის აუცილებლობიდან გამომდინარე. ამიტომაც, ასეთი საწარმოების პროექტირებისას მათთვის სამშენებლო მოედნის შერჩევის გადაწყვეტილებები საფუძვლიანი მარკეტინგული და ლოგისტიკური გამოკვლევების შემდეგ მიიღება.

1.2. მეტალურგიული კომპლექსების განვითარების ტენდენციები

ბოლო რამოდენიმე ათწლეულის განმავლობაში მსოფლიოს სახვადასხვა ქვეყანასა და რეგიონში აშენდა 1000-მდე მინი-ქარხანა, რომლებიც ორიენტირებული არიან ძორითადად სორტული ნაგლინისა და ფურცლოვანი ფოლადის წარმოებაზე. წარმადობიდან გამომდინარე მათი დაიყოფა შეიძლება სამ ჯგუფად:

- წარმადობა 50÷200 ათასი ტ/წელიწადში. ამ საწარმოებისათვის დამახასიათებელია განსაზღვრული სპეციალიზაცია და ორიენტაცია ბაზრის გარკვეულ სეგმენტზე.

- წარმადობა 200÷500 ათასი ტ/წელიწადში, რომლებიც ორიენტირებული არიან ბაზრის გარკვეულ სეგმენტზე (ან კომბინაციაზე პროდუქციის სპეციალიზაციის კუთხით), ანდა წარმოების დანახარჯების მინიმიზაციის სტრატეგიაზე. ასეთი საწარმოები, როგორც წესი აღჭურვილია თანამედროვე ტექნოლოგიებით და გამოირჩევიან ავტომატიზაციის მაღალი დონით [2].

- წარმადობა 500 ათასი ტ/წელიწადში. ასეთი საწარმოები არიან წარმოების დანახარჯების მინიმიზაციის სტრატეგიაზე და გამოირჩევიან პროდუქციის რეალიზაციაში ექსპორტის მაღალი წილით.

მეტალურგიული პრაქტიკიდან გამომდინარე საწარმოს მშენებლობას ორ ან მეტ ეტაპად ახორციელებენ. სრული ციკლის კომბინატების მშენებლობა მათი მასშტაბებიდან გამომდინარე ხანგრძლივ პროცესს წარმოედგენდა და რამოდენიმე ეტაპად ხორციელდებოდა. ეტაპების რიგითობა და რაოდენობა განისაზღვრებოდა ტექნოლოგიიდან გამომდინარე საამქროების გასაშვები კომპლექსების გაერთიანებით. მაგალითად: კოქს-ქიმიური, სააგლომერაციო და ბრძმედის საამქროები საბოლოო პროდუქტის-თუჯის გამოშვებას ემსახურებოდა და ერთ გასაშვებ კომპლექსში ერთიანდებოდა.

ფოლადსადნობი საამქრო თავისი ინფრასტრუქტურით (ჯართის მომზადება, საჩამოსხმო შემადგენლობის მომზადება და სხვ.) და ბლუმინგი-სლაბინგი ცალკე კომპლექსიდ ერთიანდებოდა, რადგანაც შუალედური პროდუქტის წარმოებას ემსახურებოდა და სორტული, ფურცელსაგლინავი,

მილსაგლინავი და მილამდიდავი საამქროები ცალკე კომპლექსად, რადგანაც საბოლოო პროდუქციას ფურცელსა და მილებს აწარმოებდა [3].

1.3. თანამედროვე ტექნოლოგიური პროცესები

გამოდნობილი ფოლადის ხარისხი მთავარ როლს თამაშობს მაღალშემოსავლიანი ბაზრის სეგმენტზე და ასეთი სისტემა უზრუნველყოფს მნიშვნელოვან და სტაბილურ უპირატესობას. ასეთი სისტემები უზრუნველყოფენ:

- ფოლადის ხარისხის სტაბილიზაციას დნობიდან-დნობამდე და მისი შენარჩუნებას უფრო მაღალ დონეზე;
- უფრო ხარისხიანი ფოლადის გამოდნობას ქიმ. შემადგენლობის ვიწრო ზღვრებში;
- ფოლადის შემადგენლობისა და არალითონური ჩანართების ოპერატიულ კონტროლს, ლითონის დაჭუჭყიანების საერთო დონის შემცირებას [4]; ეს უპირატესობები შესაძლებელია გამომდინარე:
 - ლითონის არსებული ქიმიური შემადგენლობის ზუსტი ანგარიშით, დაჟანგულობის დონის და ლითონისა და წიდის ტემპერატურის კონტროლით;
 - ტექნოლოგიური რეჟიმებიდან გამომდინარე ლითონისა და წიდის შემადგენლობის ცვლილების ზუსტი პროგნოზის დნობის პროცესში;
 - ქიმიური შემადგენლობისა და არალითონური ჩანართების რაოდენობის მუდმივი კონტროლით ღუმელსგარეთ დამუშავების მთელ პროცესში;
 - დნობის მსვლელობის, განჟანგვის, ლეგირებისა და მოდიფიცირების ყველა ოპერაციების ზუსტ გაანგარიშებებში.
 - ყველა აღნიშნული უპირატესობა სისტემისა უზრუნველყოფს შემდეგ პრაქტიკულ შედეგებს:
 - აგრეგატების და მთლიანად საამქროს მუშაობის ოპტიმიზაციას;
 - აგრეგატების მწარმოებლობის გაზრდას და პროცესის ხანგრძლივობის შემცირებას;
 - პროდუქციის თვითღირებულების შემცირებას ნედლეულის, მასალებისა და ენერგომატარებლების ხარჯის შემცირებით;

- ძირითადი აგრეგატებისა და ტექნოლოგიური დანადგარების ექსპლოატაციის ვადის გახანგრძლივებას;

- ფოლადის ხარისხის სტაბილიზაციას;

ბოლო 20 წლის განმავლობაში მსოფლიოში ამუშავდა ასობით ფოლადსადნობი აგრეგატი, ყველა ისინი აღჭურვილი იყო ტექნოლოგიური პროცესის ავტომატური მართვის სისტემით(ამს) და პრაქტიკულად არსად დნობის პროცესი არ მიმდინარეობდა ავტომატურ რეჟიმში და ამს-ს როლი დაყვანილი იყო ფაქტიურად ინფორმაციულ ფუნქციამდე: მონაცემების შეგროვება, შენახვა და პროცესების ვიზუალიზაცია. ფოლადსადნობ ღუმელზე ფოლადის დნობის პროცესი ძველებურად ისევ მეფოლადეს მიყავდა [5].

შეიმუშავეს ავტომატური მართვის მოდულები, რომელებიც მაღალი სიზუსტით აღწერენ ფოლადის გამოდნობის პროცესების მთელ კომპლექსს და საშუალებას იძლევიან ფოლადის ქიმიური შემადგენლობის, ტემპერატურის, წიდის, აირისა და არალითონური ჩანართების რაოდენობის გაანგარიშების საშუალებას დნობის ნებისმიერ მომენტში.

ასეთი მოდელების შექმნამ, გამოთვლითი ტექნიკის განვითარებასთან ერთად ფოლადსადნობ პროცესებს მართვისა და ოპტიმიზაციის საკითხებში ხარისხობრივი ნახტომის საშუალება მისცა: ავტომატიზირებული იქნა მეფოლადის პრეროგატივად მიჩნეული დნობის მიმდინარეობისას გადაწყვეტილების შემუშავება და მიღება.

ამას გარდა, შეიქმნა ფოლადსადნობი პროცესების იმიტატორი, რომელიც წიდისა და ლითონის შემადგენლობის და ტემპერატურის ცვლილების მაღალი სიზუსტით მოდელირების საშუალებას იძლევა დნობის პარამეტრებისა და ფოლადის ღუმელსგარეთ დამუშავებისას.

ამ ინსტრუმენტის გამოყენება ტექნოლოგებს ტექნოლოგიური რეჟიმების და ოპტიმალური ვარიანტების ძიების საშუალებას აძლევს. ასევე აუხსნელი მიზეზებით პროდუქციის ხარისხის გაუარესების, ნედლეულისა და მასალების გადახარჯვების დროს მოძებნოს წარმოების ოპტიმიზაციის რეზერვები.

მინი-კომპლექსების მშენებლობისათვის, გაჩერებული საწარმოების

ინფრასტრუქტურა და შენობა-ნაგებობები უნდა უზრუნველყოფდნენ ძირითადი და დამხმარე საამქროების ნაგებობების და კომუნიკაციების განთავსების შესაძლებლობას. მაგრამ, როგორც წესი, წარსულში დაპროექტებულ-აშენებული სამრეწველო საწარმოები განლაგებული იყო ქალაქის პერიფერიებზე, ხოლო რამოდენიმე ათწლეულის შემდეგ ტერიტორიულად ქალაქის ცენტრალურ რაიონებში აღმოჩნდნენ. ხოლო ამ საწარმოების სიახლოვეს არსებული ქალაქის განაშენიანებული ტერიტორიები დამატებით პრობლემას წარმოედგენს სანიტარულ-ეკოლოგიური უსაფრთხოების საკითხების გადაწყვეტისას.

ახალ საწარმოში საამქროებს შორის დამაკავშირებელი ტრანსპორტი და ენერგეტიკული კომუნიკაციები ტიპურად განსხვავდება ძველი ინფრასტრუქტურისაგან, რადგანაც ძველ საწარმოებში გარე და საამქროთშორისი დამაკავშირებელი ტრანსპორტი ძირითადად რკინგზა იყო და საამქროების განლაგების სქემები და ტვირთბრუნვა აქედან გამომდინარე იგეგმებოდა.

ძველი ინფრასტრუქტურის გამოყენებისას საჭიროა ძირითადი აქცენტი მთავარი ტექნოლოგიური საამქროებისათვის შენობა-ნაგებობების სატრანსპორტო სქემასთან შეთავსებაზე გაკეთდეს, რადგანაც ისინი ყველაზე კაპიტალტევადი ობიექტებია მეტალურგიულ კომპლექსში. შენობა-ნაგებობები, რომლებიც გამოუსადეგარი აღმოჩნდება ძირითადი ან დამხმარე საამქროებისათვის საჭიროებენ დემონტაჟს და გენერალური გეგმის მიხედვით მათ ადგილზე სხვა შენობა-ნაგებობების დაპროექტება-განთავსება.

გაჩერებული საწარმოების ბაზაზე მშენებარე მინი-კომპლექსების პროექტირება ყველა კერძო შემთხვევაში ინდივიდუალური მიდგომებით ხორციელდება, რადგანაც სარეაბილიტაციო ობიექტი შენობა-ნაგებობებითა და ენერგეტიკული ინფრასტრუქტურით მოითხოვს ძირეულ შესწავლასა და იმ ნაგებობებისა და კომუნიკაციების გამოსაყენებლად დატოვებას, რომლებიც პასუხობენ პროექტულ მოთხოვნებს ან მცირე დანახარჯებით შეიძლება მათი საჭირო კონდიციამდე მოყვანა. შესწავლას ექვემდებარება სამშენებლო კონსტრუქციები და ობიექტების ტექნიკური მდგომარეობის შეფასება [6].

გენერალურ გეგმაზე მუშაობის დასაწყისშივე საჭიროა მოხდეს სამშენებლო მოედნის ფუნქციონალური ზონირება ტექნოლოგიური, სანიტარულ-ჰიგიენური, ხანძარსაწინააღმდეგო და სატრანსპორტო ფაქტორების გათვალისწინებით. ტექნოლოგიური გადაწყვეტილებებიდან გამომდინარე სამშენებლო ტერიტორია საჭიროა ზონებად დაიყოს:

- სატრანსპორტო ობიექტების, სასაწყობე და დამხმარე ობიექტების ზონად, რომელებიც უნდა განთავსდეს საწარმოში შემავალ რკინიგზის ხაზთან;
- ენერგეტიკული დანიშნულების ზონად, რომელშიც შემავალი ობიექტებია: ჟანგბადის სადგური, მბრუნავი ციკლის წყალმომარაგების სისტემის ნაგებობები, საქვაბე, რომლებიც საამქროთშორისი კომუნიკაციების ქსელის საერთო სიგრძის შემცირების მიზნით მინი-კომპლექსის ცენტრში უნდა განლაგდეს;

ძირითადი ობიექტების ზონად(ელ. ფოლადსადნობი, უჩდ და საგლინავი ბლოკები), რომელთა განლაგება უნდა მოხდეს პერსპექტიული განვითარების გათვალისწინებით.

ჯართის გადამამუშავებელი საამქრო და ჯართის საწყობი, ფხვიერი მასალების საწყობი, საერთოსაქარხნო დანიშნულების საწყობები და კირქვის გამოწვის საამქრო უნდა განთავსდეს რკინიგზის ხაზთან ახლოს და, თუ ასეთი არ არსებებს, ამ ობიექტებთან უნდა იქნას მიყვანილი.

იმისათვის, რომ განისაზღვროს ახალი საწარმოს გაჩერებულის ადგილზე განთავსების შესაძლებლობა და მიზანშეწონილობა, საჭიროა უკვე არსებობდეს დამკვეთის წინასწარგანზრახულობის გეგმა, გამოსაშვები პროდუქციის დასახელების, წლიური წარმადობისა და გამიზნული ინვესტიციის ოდენობაზე. ამ დოკუმენტის საფუძველზე საპროექტო ჯგუფი ახორციელებს ტექნიკურ-ეკონომიკური წინადადების მომზადებას, რომელშიც მოცემული უნდა იყოს მომავალი საწარმოს მიერ პროდუქციის წარმოების ტექნოლოგიური სქემა და ძირითადი და დამხმარე საამქროების ჩამონათვალი, მათი განლაგება, სატრანსპორტო და ენერგეტიკული ინფრასტრუქტურის სქემა და მიახლოებითი გათვლები პროექტის საერთო ღირებულების შესახებ.

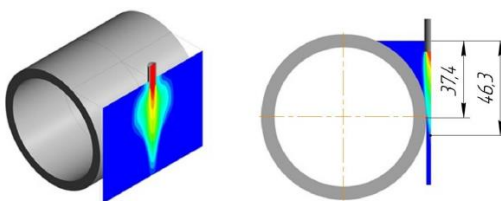
ამ დოკუმენტის არსებობის შემთხვევაში შესაძლებელია საწარმოს დარჩენილი ინფრასტრუქტურის და შენობა-ნაგებობების შეფასება-ექსპერტიზა მისი ახალი საწარმოსათვის ვარგისიანობის შესახებ.

1.4. ფოლადის უწყვეტი ჩამოსხმის ტექნოლოგიის განვითარება

XX საუკუნის ბოლოსა და XXI საუკუნის დასაწყისში მსოფლიო მეტალურგიაში გამოჩნდა სამრეწველო დანადგარები ფოლადის ფურცლის პირდაპირ უწყვეტი ჩამოსხმისა. განსაკუთრებულ წარმატებას ამ დარგში მიაღწია “Castrip” ტექნოლოგიამ, რომელშიც მოხდა 1856 წელს ჰენრი ბესემერის დაპატენტებული საჩამოსხმო მანქანის იდეის რეალიზება. ამას 150 წელი დასჭირდა და მხოლოდ თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენებით გახდა ეს შესაძლებელი.

კონსტრუქციულად ფურცლის ჩამოსხმა წარმოადგენს წყლით გაციების მქონე ორი ჰორიზონტალურად განლაგებული გლინისაგან შემდგარი კრისტალიზატორის (Twin Roll) საშუალებით ფურცელის მიღება. გლინები ჩამოსხმის პროცესში ერთმანეთის საწინააღმდეგოდ ბრუნავენ. სითბოს ინტენსიური მოცილების მიზნით ისინი დამზადებულია სპილენძისა და ქრომის შენადნობისაგან, დაფარულია ნიკელის, ქრომისა და კერამიკის ფუძეზე დამზადებული მასალებით.

Castrip ტექნოლოგიით მიღებული თხელი ფურცლის მიკროსტრუქტურა მკვეთრად განსხვავდება ტრადიციული, ანუ გლინვით მიღებული ფურცლის მიკროსტრუქტურისაგან. ფურცელის ცხლად გლინვისას ფოლადი განიცდის დიდ მოჭიმვას, რის შედეგადაც იმსხვრევა მარცვლოვანი სტრუქტურა და ძლიერდება რეკრისტალიზაციის კინეტიკა. მაშინ, როდესაც Castrip-პროცესის დროს მიკროსტრუქტურის ევოლუცია პირდაპირ კავშირშია ლითონის კრისტალიზაციის პროცესთან. აუსტენიტის უფრო მსხვილმარცვლოვანი სტრუქტურა დამახასიათებელია ჩამოსხმული ფურცელისათვის.



ნახ. 1. გლინზე ფოლადის ჭავლისა და სითბოს განაწილების სქემა

ცხრილი 1. სხვადასხვა ტექნოლოგიური პროცესის მაჩვენებლების შედარება

პარამეტრი	Twin Roll პროცესი	სლიაბი	ტრადიციული ჩამოსხმა
ჩამოსხმული ნამზადის სისქე, მმ	1,6	50	220
ჩამოსხმის სიჩქარე, მ/წთ	80	6	2
სითბოს მოცილება, მგტ/მ ²	14	2,5	1,0
კრისტალიზაციის დრო, წმ	0,15	45	1070
გაციების სიჩქარე კრისტალიზატორში C°/წმ	1700	50	12

განსაკუთრებული ყურადღება კვლევებისას და საცდელ აგრეგატზე მუშაობისას დაეთმო ფურცლის ხარისხს, რადგანაც გაციების ინტენსივობამ და წარმოების სიჩქარემ უნდა უზრუნველყოს ფურცლის ერთგვაროვანი სტრუქტურა და გეომეტრია. ამ

ტექნოლოგიის ტრადიციული-უწყვეტი ჩამოსხმის ტექნოლო- გიებისაგან განმასხვავებელი სხვა ნიშნების გარდა არის ის, რომ: აქ არ გამოიყენება არც წიდაწარმომქმნელი მინარევეები, არც სპეციალური საპოხი მასა და არც კრისტალიზატორის აწევ-დაწევის მექანიზმი [7].

Castrip პროცესი, თავისი ინოვაციურობით საშუალებას იძლევა ელ. ღუმელში საკაზმე მასალების შერჩევისადმი ახლებურად მიდგომისა.

აქ ნაკლებია, როგორც ფერადი ლითონების თხევადი ევტექტიკების ასევე „კლასრეტების“ და მარცვლების საზღვრებზე არალითონური ჩანართების წარმოშობის საშიშროება. ამასთან ლითონის ქიმიური და სტრუქტურული არაერთგვაროვნების დაბალი დონე შემდგომი ფურცელის გადამუშავებისას ხელს უწყობს გაუმჯობესებული თვისებებისა და ჩამოსხმის პროცესის გაციებისა და კრისტალიზაციის მაღალი სიჩქარეების გამო სტრუქტურის, უდეფექტო ცხლად და ცივადგლინული თხელი ფოლადის ფურცლის მიღებას. ეს ეფექტი დადასტურდა ორგლინიანი საჩამოსხმო აგრეგატების ექსპლოატაციისას. სპილენძის შემცველობა მზა ლითონში დასაშვებია 3,5 ჯერ მეტი(0,55%), ხოლო კალა 10 ჯერ მეტი(0,16%) ჩვეულებრივი ტექნოლოგიით წარმოებასთან შედარებით. ამასთან კომპანია Castrip LLC აითვისა ცხლადგლინული ფურცლის

წარმოება სპილენძის შემცველობით 0,2-0,4%, დაბალი ხარისხის ფერადი ლითონებით დაჭუჭყიანებული ჯართის გამოყენებიდან გამომდინარე.

1.5. ფოლადის ხარისხის გაუმჯობესების მოწინავე ტექნოლოგიები

ორგლინიან აგრეგატებზე ფოლადის უწყვეტი ჩამოსხმა დღეისათვის საჭირო ხარისხისა და თვისებების თხელი ფურცლს მიღების საშუალებას იძლევა, თანამედროვე კონტროლისა და მართვის საშუალებების შესაძლებლობიდან გამომდინარე ჩამოსხმის, ცხელი დეფორმაციის, გაციებისა და რულონებად დახვევის პროცესებში.

ჩვეულებრივი უწყვეტად ჩამოსხმული სლიაბის პირობებში 200-250 მმ სისქით და თხელი სლიაბის სისქით 50-80 მმ ან დაბალნახშირბადიანი 1,5-2,0 მმ სისქის ფურცელის მისაღებად საჭიროა ნამზადის მრავალჯერადი გლინვა, აუსტენიტის განმეორებითი კრისტალიზაცია. ფურცელის მრავალჯერადი გლინვისას ხდება აუსტენიტის ოპტიმალური სიდიდის მარცვლის ფორმირება, რომელიც ფურცლის სწრაფი გაციებისას იწვევს ფერიტის მარცვლის სახით მკვრივი სტრუქტურის ჩამოყალიბებას. შესაბამისად ერთ-ერთი მთავარი ფაქტორი დაბალნახშირბადიანი ფოლადის ფურცლის წარმოებისას არის ფერიტის სტრუქტურის ფორმირება. Castrip ტექნოლოგიის უნიკალურობა მდგომარეობს იმაში, რომ ფოლადის გამყარების პროცესი მიმდინარეობს 200-300 მილიწამის განმავლობაში მაშინ, როდესაც ტრადიციული ტექნოლოგიის დროს ეს პროცესი გრძელდება რამოდენიმე წუთს. ქრება ცხელ მდგომარეობაში ფოლადის სიმყიფის საშიშროება, რომელსაც ადგილი აქვს ლითონის ცნობილ ტემპერატურულ ინტერვალებში გარდასახვას ჩვეულებრივ სიჩქარეზე გამყარებისას.

ახალი ტექნოლოგიის გამოყენებისას მინარევები ფოლადში, რომლებიც დნობის მარცვლების საზღვრებზე ტემპერატურას ამცირებენ, არ შეუძლიათ მიგრაცია ამ საზღვრებისაკენ. ამიტომაც თხელი ფურცლის ჩამოსხმისას უზრუნველყოფილია ხარისხობრივი მაჩვენებლების მაღალი დონე და მიკრო, მაკრო და ნანო ნაწილაკების თანაბარი განაწილება სწრაფი გამყარებისა და

ჟანგბადის კონტროლირებულ რაოდენობასთან ერთად[8]. გამოვლენილია სწრაფი გამყარების პროცესში წარმოქმნილი შემდეგი ჩანართები:

- მსხვილი(≈1 მკმ) - $MnO-SiO_2-Al_2O_3$ - თხევად ფოლადში;
- მცირე (≈30-500 ნმ) - SiO_2-MnS - გამყარების შემდეგ;
- ულტრამცირე(≈30 ნმ).

ეს ჩანართები, მკვლევარების აზრით, დიდ წილად განმსაზღვრელი ფაქტორია დისლოკაციების დამაგრების გზით რეკრისტალიზაციის პროცესის დამუხრუჭებისა და სუბმარცვლების საზღვრების და საბოლოო მიკროსტრუქტურის ჩამოყალიბების მექანიზმის რეალიზაციათვის.

ამჟამად თხელი ფოლადის ფურცლის წარმოებისათვის გამოიყენება დაბალნახშირბადიანი ფოლადები(<0,005%C), მანგანუმისა და სილიციუმის სხვადასხვა შემცველობით. ასეთი ქიმიური შემადგენლობა შერჩეულია იმისათვის, რომ განჟანგვის პროდუქტები MnO და SiO_2 ჩამოსხმის პროცესში დარჩნენ თხევად ფაზაში საჩამოსხმო საქმენების გაჭედვის აღსაკვეთად და სითბოგადაცემის სიჩქარის გასაზრდელად. 0,5-5,0 მკმ ზომის არალითონური ჩანართები საბოლოო მიკროსტრუქტურის განვითარებისათვის ძალიან მნიშვნელოვან როლს თამაშობენ და ნემსისებრი ფერიტის მარცვლების ჩანასახების წარმოქმნის ხელშემწყობს წარმოადგენენ. ასევე დიდ როლს თამაშობენ ნანონაწილაკები (5-30 ნმ) წარმოების შემდგომ ოპერაციებში, კერძოდ, მაღალტემპერატურული თერმული დამუშავებისას, რომელიც მარცვლის ზრდის ხელის შეშლას უზრუნველყოფს.

არალითონური ჩანართების შემადგენლობის და ზომების რეგულირება შესაძლებელია გახსნილი ჟანგბადის კონტროლით გამყარების პროცესის დასაწყისში და მალეგირებელი დანამატების შეყვანისას. ფოლადის $SiMn$ -ით განჟანგვის პრაქტიკა საშუალებას იძლევა ჟანგბადის კონტროლისა, რაც პრაქტიკულად გამორიცხულია ჩვეულებრივი მშვიდი ფოლადები წარმოებისას. კრისტალიზაციის მაღალი სიჩქარის დროს ჩანართები საჭირო ზომისა და შემადგენლობის მიღების საშუალებას იძლევა.

განხილული მასალებიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ ფოლადის თხელი ფურცლის ორგანიზაციის აგრეგატზე ჩამოსხმა არის ეკონომიკურად,

ეკოლოგიურად და ტექნიკურად ეფექტური პროცესი, რომელსაც აქვს განვითარების და მასიურად მსოფლიო მასშტაბით გამოყენების პერსპექტივა.

სორტამენტის გაფართოვება ტრადიციული ტექნოლოგიით წარმოებულ ფურცელთან შედარებით მოგების მნიშვნელოვანი გაზრდის საშუალებას იძლევა:

- ნახშირბადიანი ფოლადებისათვის 20-50 USD/ტ-ზე;
- მაღალი სიმტკიცის და მარტენსიტული კლასის ფოლადებისათვის 80-150 USD/ტ-ით. მნიშვნელოვნად მცირდება საერთო და ხვედრითი კაპიტალური დანახარჯები ფურცლის წარმოებაზე.

ამასთან მთლიანად მცირდება:

- | | |
|--|-----------|
| - აგრეგატების ღირებულება | 45%-ით |
| - საწარმოო ფართობები | 85%-ით |
| - ენერგომომხმარება | 80%-ით |
| - მავნე გამონაბოლქვები(SO ₂ , CO ₂) | 70-90%-ით |

საჭიროა აღინიშნოს, რომ Castrip ტექნოლოგია საშუალებას იძლევა ღუმელში დნობისას გამოყენებული იქნას დაბალი ხარისხის ლითონის ჯართი, რაც დღეისათვის, განსაკუთრებული პრივილეგიაა, როდესაც მსოფლიოში ჯართის რესურსები შემცირდა, ხოლო მეტალურგები ფერადი ლითონებით გაჯერებული ჯართის მიღებას ერიდებიან[9].

ჩამოსხმული ფურლის ფასი პირდაპირ კავშირშია მიღებული ლითონის ხარისხთან. საცდელ-საწარმოო სამუშაოების დროს დადგენილი იქნა, რომ:

1. გეომეტრიული ზომების პარამეტრები(პროფილი, სისქის სხვადასხვაობა, სწორხაზოვნება) ჩამოსხმული ფურცელისა არ ჩამოუვარდება (ფაქტიურად კი უკეთესია) ტრადიციული-გლინვით მიღებული ფურცლის ანალოგიურ პარამეტრებს და შეესაბამებინ სტადარტების მოთხოვნებს.

2. მინიშნელოვანია ფურცლის(სისქით 1,0-2,0 მმ) ზედაპირზე ხენჯის მდგომარეობისა და რაოდენობის საკითხი. ისეთი დეფექტი, როგორცაა ჩაგლინული ხენჯი ჩამოსხმის პროცესში საერთოდ არ განიხილება, რადგანაც მთელი პროცესი მიმდინარეობს ინერტული აირის არეალში.

3. ახალი პროცესის პირობებში მიიღწევა ფოლადის ფურცლის ზედაპირის ხაოიანობის საუკეთესო მაჩვენებლები, რაც ხელს უწყობს ცივადგლინული მაღალი ხარისხის ფურცლის მიღებას.

ბოლო პერიოდში ელ.ლუმელებში აქტიურად იყენებენ მეტალიზებულ აკატიმებს, რომლებიც მიიღება პირდაპირი აღდგენის მეთოდით DRI(Direct Reduction Iron), რომელიც შახტურ ლუმელებში მიიღება ბუნებრივი აირის ბაზაზე. ის შეიცავს 85-93% რკინას და არ არის დაჭუჭყიანებული სპილენძითა და ფოლადისათვის არასასურველი სხვა მინარევებით.

რადგანაც რკინა ბუნებაში გვხვდება ოქსიდების სახით, მეტალურგების ამოცანაა რკინის მადნის აღდგენა, ანუ მასში ჟანგბადის მოცილება. რკინამადნურ მასალებში რკინის შემცველობის გაზრდამ მიიღო სახელწოდება - მეტალიზაცია. რკინის მადნების მეტალიზაცია ხდება 1000-1200°C გრადუსზე, ანუ იმ პირობით, რომ ნედლეულიცა და პროდუქტიც წარმოადგენენ მყარ ფაზას(მყარ-ფაზური აღდგენა).

მეტალიზებული რკინის წარმოების ყველაზე გავრცელებული მეთოდებია Midrex და Hyl-III პროცესები. მთავარი განმასხვებელი Midrex პროცესისა არის ბუნებრივი აირის კონვერსია ნახშირბადის დიოქსიდით, რომელსაც ლუმელიდან გამოსული აირი შეიცავს.

მეტალიზაციის პროცესისათვის აღმდგენელის სახით იყენებენ ბუნებრივ აირს, ამიტომ პირდაპირი რკინის აღდგენის დანადგარებს აშენებენ იქ სადაც რკინის მადნის გარდა არის იაფი ბუნებრივი აირის საშუალება.

ნედლეულის სახით ლეგირებული ფოლადების გამოსადნობად გამოიყენება ასევე, ლეგირებული ფოლადის ნარჩენები, რომლებიც წარმოიშვება ფოლადსადნობში წუნის სახით და ჩამონაჭრების სახით საგლინავ საამქროებში, ამავე დროს მანქანათმშენებელ ქარხნებში. ასეთი ნარჩენების გამოყენება იძლევა ელექტრონადნობის ეკონომიკურ ეფექტს, რამეთუ იზოგება ძვირადღირებული მალეგირებლები და ფეროშენად- ნობები.

მალეგირებლებად იყენებენ სხვადასხვა დანამატებს: ელექტროლიტურ ნიკელს, ფეროქრომს, ფეროსილიციუმს, ფერომანგანუმს, ფერომოლიბდენს, ფეროვოლფრამს და სხვ. გამჟანგველებად ფერომანგანუმისა და

ფეროსილიციუმის გარდა იყენებენ სუფთა ალუმინს. დანახშირბადებისათვის იყენებენ გადასამუშავებელ თუჯს, ელექტროდების ნატეხებს, ხოლო წიდის დასაყენებლად ახალგამომწვარ კირს, მლღობ შპატს, შამოტის ნამსხვრევებს, დოლომიტს და მაგნეზიტს [10].

სპეციალური ფოლადების წარმოებისას ნარჩენების რაოდენობა 25-40% შეადგენს. ნარჩენების ნაწილი მანქანათმშენებელი ქარხნების ნარჩენებია, ამიტომ ელ.ფოლადსდნობ საამქროებში 50% ლეგირებულ ფოლადებს ადნობენ ასეთი კაზმით. ნარჩენების რაციონალური გამოყენება საშუალებას იძლევა: მალეგირებლების და ელ.ენერჯის ეკონომიისა და წარმადობის გაზრდისა. კაზმს ადგენენ ისეთი ანგარიშით, რომ ნახშირბადის შემცველობა გადნობისათვის იყოს არა ნაკლები 0,05-0,10% გამოსადნობი ფოლადის მარკისა. საჭირო მალეგირებლები და უჟანგავი დანამატები Ni, Mo, W შეყავთ კაზმში, ხოლო V, Ti, Cr, Mn, Al, Si, Nb ციცხვში. შეკვეთილი-საბოლოო შემადგენლობის ფოლადი მიიღება ციცხვში. დნობის პროცესში დააყენებენ მაღალფუძიან და თხევადდენად წიდას, რომელსაც ნაწილობრივ მოხდიან. ეს საშუალებას იძლევა 30% ფოსფორის მოცილებისა.

ნაჭროვანი ფეროშენადნობებით ციცხვში განჟანგვა-ლეგირების პრაქტიკამ აჩვენა ხშირ შემთხვევებში ქიმიური არაერთგვაროვნება სხმულის სავადასხვა ადგილას. ასეთმა შედეგებმა ხელი შეუწყო ფხვნილიანი ე.წ. მავთულით განჟანგვის ტექნოლოგიის განვითარებას. მავთული წარმოადგენს თხელკედლიანი ფოლადის მილს შევსებულს ფხვნილოვანი რეაგენტებით, როლებითაც გამიზნულია ფოლადის დამუშავება. არსებობს მავთული სილიკოკალციუმის, ფეროტიტანის, კალციუმი ალუმინით, გრაფიტი სილიკოკალციუმით და სხვა შემავსებლებით [11].



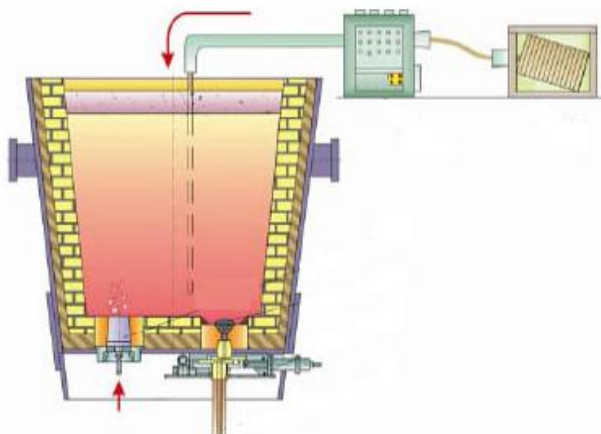
ნახ. 2. ფხვნილოვანი მავთული

ფხვნილოვანი მავთულის გამოყენებას ჩვეულებრივ განუჩანგვასთან შედარებით გააჩნია მთელი რიგი უპირატესობები:

- განსაკუთრებით მაღალაქტიური ელემენტების ათვისების მაღალი დონე, მაგალითად მაგნიუმისა და კალციუმის;
- მალეგირებლებისა და მოდიფიკატორების ათვისების მაღალი სტაბილურობა;
- ტემპერატურის შემცირების დაბალი მაჩვენებელი 5-10°C;
- გაცილებით დაბალი კაპიტალური ხარჯები ფოლადის რაფინირების სხვა მეთოდებთან შედარებით;
- ფოლადში შესატანი რეაგენტების ზუსტი რაოდენობის კონტროლი;
- შენახვისა და ტრანსპორტირების სიმარტივე და სხვ.
- განუჩანგვა-ლევირება განსაკუთრებით ეფექტურია მავთულის საშუალებით, რეაგენტების მიწოდებისა და საცობის საშუალებით ინერტული აირთან ერთად ფხვნილებით ფოლადის ერთდროული დამუშავების ტექნოლოგიით. ფხვნილოვანი მავთულის ციკხში მიწოდება ხდება ტრაიბ აპარატის საშუალებით(სურ.3).

1.6. წიდებით ფოლადის დამუშავების აქტუალობა:

ფოლადის ეფექტური დესულფურაციის პროცესის განხორციელებისათვის გამოიყენება დაბალი დამუჩანგავი პოტენციალის მქონე CaO-Al₂O₃-CaF₂ ფუძის წიდებით ღუმელსგარეთ დამუშავება [12-14].



ნახ. 3 . ტრაიბ აპარატის საშუალებით მავთულის ციკხვში მიწოდება

ასევე ეფექტურია სინთეტიკური წიდების გამოყენებაც, რომელიც ითვალისწინებს ფოლადის რაფინირების პროცესის ღუმელიდან საჩამოსხმო ციკხვში გადატანას. რაფინირებისათვის სპეციალურ ელექტრორკალურ ღუმელში ადნობენ სინთეტიკურ წიდას კირისა (52–55%) და Al_2O_3 (40%) ფუძეზე. თხევად მდგომარეობაში ამ წიდას, რაოდენობით 5% დნობის წონისა ასხავენ ფუძემონაგიან ციკხვში. ციკხვს ღუმელის ქვეშ ათავსებენ და ნადნობს პირდაპირ მიუშვებენ. ფოლადის ჭავლი ეცემა რა დიდი სიმალიდან წიდასთან შეხებაში იშლება წვეთებად და შხეფები წიდას აქაფებს. ხდება ფოლადისა და წიდის ინტენსიური არევა. ეს ხელს უწყობს წიდასა და ლითონს შორის ურთიერთგაცვლის პროცესების ინტენსივობას. ინტენსიურად მიდის დესულფურაციის პროცესი: FeO-ს სიმცირის გამო წიდაში და ჟანგბადისა ლითონში, წიდის მაღალი ფუძიანობისა, მაღალი ტემპერატურისა და ლითონის წიდასთან არევის გამო. გოგირდის კონცენტრაცია შეიძლება შემცირდეს 0,001%-მდე. ამასთან მიმდინარეობს ფოლადიდან ოქსიდური არალითონური ჩანართების მოცილება ასიმილაციის ხარჯზე, სინთეტიკური წიდის მიერ არალითონური ჩანართების შთანთქმა და ჟანგბადის გადანაწილება წიდასა და ლითონს შორის.

ამჟამად დესულფურაციისათვის წარმატებით გამოიყენება კირისა და მლღობი შპატის(10-30%) შემადგენლობის მყარი წიდაწარმოქმნიელი მინარევი. ფტორიდების შემცველობის შესამცირებლად მიზანშეწონილია: CaO 53-55%; Al_2O_3 43-45%; CaF_2 <7% დნობის ტემპერა- ტურით $1395^{\circ}C$. ასეთი

მინარევეების ხარჯი მერყეობს 3-10 კგ/ტ ფოლადზე.

უწყვეტი ჩამოსხმის თავისებურებები და ნაკლოვანებები: უწყვეტი ჩამოსხმისას კრისტალიზატორში მიიღება უსასრულო სიგრძის სხმული, ყველა პორცია ლითონისა გაივლის ერთიდაიგივე პირობებს, რაც სხმულის ერთგვაროვნების გარანტიაა.

თანამედროვე საჩამოსხმო დანადგარების კრისტალიზატორში მთელ კვეთზე ტემპერატურის დიდი გრადიენტი და სხმულის სხვადასხვა ნაწილში მიმდინარე ნადნობის გაგრილების, გამყარების და შემდგომში გაცივის პროცესები, პროგრამულად იმართება და მაღალი ხარისხის პროდუქციის მიღების საშუალებას იძლევა [15-19].

უჩდ-ზე ჩამოსხმული სხმული ხასიათდება:

10-20%-ით მეტი ვარგისი პროდუქციის გამოსავალით ბოყვებში ჩამოსხმულ სხმულთან შედარებით;

- ტექნოლოგიური პროცესიდან გამოირიცხულია ისეთი ენერგოტევადი ოპერაცია როგორცაა მომჭიმავ დგანზე ბლუმსის მიღება;
- სხმულების ზომების სიზუსტითა და ზედაპირის სისუფთავით;
- გრძივ და განივ კვეთში სხმულის ქიმიური ერთგვაროვნებით, რაც უზრუნველყოფს ნამზადის სტაბილურ მექანიკურ თვისებებს;
- ელ. ენერგიის შემცირებით;
- მთლიანად გამოირიცხება ბოყვებისა და მთელი საჩამოსხმო შემადგენლობის დამზადებისა და ჩამოსხმის დროს თანმდევი ლითონის დანახარჯები;
- მცირდება ოპერაციების ციკლი ფოლადის გამოდნობიდან საბოლოო პროდუქციამდე;
- ხდება პერსონალის სამუშაო პირობების გაუმჯობესება;
- საჩამოსხმო შემადგენლობის დამზადების ამოგდებით უმჯობესდება ეკოლოგიური მდგომარეობა წარმოებაში;

უწყვეტი ჩამოსხმის ნაკლოვანებებად ითვლება:

- რთული კონფიგურაციის სხმულის ჩამოსხმის შეუძლებლობა;
- სხმულებისა და ნამზადების შეზღუდული რაოდენობა;

- სხვადასხვა მარკის ფოლადების მცირე რაოდენობის შეკვეთების პირობებში თვითღირებულების ზრდა;
- ზოგიერთი, მაგალითად, მადულარი მარკის ფოლადების, ჩამოსხმის შეუძლებლობა;
- აგრეგატებისა და მოწყობილობების მოულოდნელი გაჩერება მთლიანად ჩამოსხმის პროცესის გაჩერებას იწვევს, რაც საერთო წარმადობაზე აისახება.

უწყვეტი ჩამოსხმის ტექნოლოგია დადებითი მხარეებიდან გამომდინარე მსოფლიო მეტალურგიულ პრაქტიკაში გამოიყენება, როგორც ფოლადის ჩამოსხმის ძირითადი მეთოდი, არა მარტო ახლად მშენებარე ფოლადსადნობი საამქროების, არამედ ძველი საწარმოების რეკონსტრუქციისას მათში განთავსებით. განსაკუთრებით მაღალი წარმადობა უწყვეტი ჩამოსხმის დანადგარებისა მიღწეული იქნა კონვერტორული და ელ. ფოლადსადნობი ღუმელებით დაკომპლექტებულ ფოლადსადნობ საამქროებში. ამ შემთხვევაში ღუმელებიდან ფოლადის გამოშვების ციკლები ადვილად ემთხვევა უჩდ-ზე ჩამოსხმის ციკლებს, რაც უზრუნველყოფს წარმოების უწყვეტობასა და მის მაღალ წარმადობას [20, 21].

2. ბორისშემცველი მინარევით ფოლადის დესულფურაცია და მიკროლეგირება

ხანგრძლივი დროის განმავლობაში ფოლადის დნობა, რაფინირება, განჟანგვა და ლეგირება, ანუ საბოლოო ქიმიური შემადგენლობის მიღება, ხორციელდებოდა ღუმელში, ანდა ნაწილობრივ საჩამოსხმო ციცხვში ნადნობის გამოშვების შემდეგ. ღუმელები დაკომპლექტებული იყო სუსტი ტრანსფორმატორებით, რის გამოც გადნობის პერიოდი და მთლიანად დნობის ხანგრძლივობა სამჯერ-ოთხჯერ მეტი იყო დღევანდელთან შედარებით.

ახალი, თანამედროვე ღუმელების და მძლავრი ტრანსფორმატორების პირობებში კაზმის გადნობის პერიოდი 40-50 წუთია, ამიტომ საჩამოსხმო მანქანასთან ღუმელის სინქრონიზაციის აუცილებლობამ, ფოლადის რაფინირების და განჟანგვის პროცესებმა მთლიანად ციცხვში გადაინაცვლა ფოლადის დამუშავების შემდეგ ჩამოსხმისათვის საჭირო ტემპერატურამდე მიყვანის ჩათვლით, მთლიანად პროცესს ღუმელსგარეთ ფოლადის დამუშავების ტექნოლოგია ეწოდა.

ღუმელსგარეთ დამუშავება საშუალებას გვაძლევს:

- ფოლადის ქიმიური შემადგენლობისა და ტემპერატურის გასაშუალებისა;
- ფეროშენადნობები მივაწოდოთ ზუსტად გათვლილი ფოლადის მარკისათვის საჭირო რაოდენობით და სწრაფადვე მოვახდინოთ ქიმიური შემადგენლობის კორექტირება.

დღეს მეტალურგიული კომპლექსების განვითარების პრიორიტეტული ამოცანებია პროდუქციის ხარისხის გაუმჯობესება და თვითღირებულების შემცირება. ამ საკითხების გადაწყვეტის პერსპექტიული მიმართულებებია ფოლადის რაფინირება, მ.შ. დესულფურაცია და მიკროლეგირება.

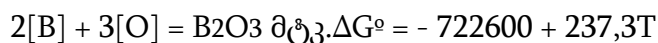
თანამედროვე ფოლადსადნობ საამქროებში დაბალი 0,010-0,015% გოგირდის შემცველობის ფოლადის მისაღებად დესულფურაციის პროცესი ღუმელსგარეთ მაღალფუძიანი $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ სისტემის წიდეებში მლღვობი შპატის (CaF_2) გამოყენებით ხორციელდება [22-28].

მლღვობი შპატი ფართოდ გამოიყენება მეტალურგიულ მრეწველობაში და ფაქტიურად შეუცვლელ კომპონენტად იქცა წიდაწარმომქმნელი მინარევებში.

მაგრამ, მლღვობი შპატი გამოირჩევა დნობის დაბალი ტემპერატურითა და წიდის ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებზე ზემოქმედების მოკლე პერიოდით. ამცირებს წიდის სიბლანტეს, ათხევადებს, მაგრამ ამცირებს ასევე წიდის ფუძიანობას, რაც ეფექტური დესულფურაციისათვის დამაბრკოლებელი ფაქტორია, ხოლო რეაქციის შედაგად გამოყოფილი აიროვანი ფტორი ეკოლოგიას მნიშვნელოვან ზიანს აყენებს. ამას გარდა შპატი ძვირადღირებული მინერალია და ზრდის ფოლადის თვითღირებულებას.

ზემოთაღნიშნული პრობლემების გადასაჭრელად მიზნად დავისახე ფოლადის ღუმელსგარეთ რაფინირების მაღალი პოტენციალის წიდებით დამუშავებისათვის საჭირო კომპოზიციის შემუშავება და მლღვობი შპატის ეკოლოგიურად შედარებით სუფთა ბორისშემცველი რეაგენტით, კერძოდ, ბორის ანჰიდრიდით-კოლემანიტით(B2O3) ჩანაცვლება.

ბორს გააჩნია მაღალი ქიმიური თავსება აზოტთან და ჟანგბადთან და წარმოქმნის წვრილდისპერსიულ ნაერთებს. ამავდროულად, ის ძლიერი განმჟანგველი თვისებებითაც ხასიათდება, მაგრამ ქმნის მტკიცე ნიტრიდებს. თუ განვიხილავთ ბორის ურთიერთქმედების რეაქციას ჟანგბადთან და აზოტთან [28]:



რეაქციის კონსტანტას შემდეგი სახე აქვს:

$$K_p = a_{B_2O_3} / a[B]^2 a[O]^3 \quad \Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln a_{B_2O_3}$$

$a[B]^2 a[O]^3$ - ბორის აქტივობა ნადნობში, მისი 0,005% შემცველობისას შეადგენს:

$$a[B]=0.0044, \text{ აქტივობის კოეფიციენტი } f[B] = 0,88.$$

გიბსის ენერჯის ცვლილება $T = 1873 \text{ K}$ რეაქციისას შეადგენს:

$$\Delta G = 27029 \text{ ჯოულ/მოლს}$$

$[B] + [N] = BN$ მტკ. $\Delta G^\circ = - 185500 + 78T$ აქ $T = 1873 \text{ K}$ გიბსის ენერჯის ცვლილება იქნება $\Delta G = 110481 \text{ ჯოულ/მოლი}$.

როგორც თერმოდინამიკური გათვლები აჩვენებს, ბორის შეყვანისას არალეგირებულ ნახშირბადიან ფოლადებში 0,005% რაოდენობით, ის არ შედის ურთიერთქმედებაში არც ჟანგბადთან და არც აზოტთან და მისი მიკრომალეგირებელი ეფექტი რეალიზდება იმ ნაწილით, რომელიც მყარ

მდგომარეობაში იმყოფება. ბორის დამატებით ფოლადში (>0,006%) მარცვლების საზღვრებზე გამოიყოფა ბორისშემცველი ფაზა კარბობორიდების სახით [29].

ბორი ფოლადში გარდა ოქსიდებისა (B_2O_3), ნიტრიდების (BN) და რკინის ბორიდების (Fe_2B და FeB) სახითაცაა და მეტალურგიულ პრაქტიკაში გამოიყენება როგორც ელემენტარული ისე ოქსიდების სახით. ჩატარებულია მთელი რიგი სამუშაოებისა B_2O_3 -ს ზემოქმედების სხვადასხვა შემადგენლობის წილებზე. ბორის ანჰიდრიდის დამატება ამცირებს წილის სიბლანტეს, ეს დაკავშირებულია სილიკატების დეპოლიმერიზაციასთან, ამცირებს წილის სიბლანტეს და დნობის ტემპერატურას. ბორის შემცველობა თანამედროვე ტექნოლოგიებით მიღებულ კონსტრუქციულ ფოლადებში უმნიშვნელოა (0,001-0,002%). ბორისშემცველი ფოლადების გამოყენებამ საფუძველი დაუდო შენადნობებით მიკროლეგირების ახალ მიმართულებას მეტალურგიაში. ბორის უმნიშვნელო რაოდენობით დამატება ფოლადში იწვევს მარცვლების მნიშვნელოვან დაქუცმაცებას და მარცვლების საზღვრების გამტკიცებით ცეცხლმდეგობის გაზრდას. ამ დროს მატულობს ასევე სიმტკიცე, ცვეთამდეგობა და ცხელ მდგომარეობაში სხმულის პლასტიკურობაც უმჯობესდება. ამას გარდა ბორი ზრდის Ac_3 კრიტიკული წერტილის ნიშნულს. რაც უფრო დაბალია ნახშირბადის შემცველობა, მით მეტია ბორის მოქმედების ეფექტი [30].

საინტერესოა ბორის ზემოქმედება ფოლადის კრისტალიზაციის პროცესზე. ბორით მოდიფიცირება ზრდის კრისტალიზაციის ცენტრების ჩასახვის სიჩქარეს, ამცირებს ფოლადის გადაციების დონეს და ზრდის მისი გამყარების სიჩქარეს, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ფოლადის უწყვეტი ჩამოსხმის აგრეგატების წარმადობის გაზრდისას.

ბორის შემცველობა ამცირებს ფოლადის ზედაპირულ დაჭიმულობას, რასაც მიჰყავართ ბორის ადსორბციასთან მარცვლების საზღვრებზე და კრისტალების ზრდის შენელებასთან, შედეგად ფოლადის სტრუქტურის წვრილმარცვლოვნებასთან. სვეტოვანი კრისტალიზაციის ზონა მცირდება, სტრუქტურა ხდება ერთგვაროვანი და წვრილმარცვლოვანი, უმჯობესდება პლასტიკური თვისებები. ბორის კონცენტრაციის შემდგომი ზრდა უკვე იწვევს უარყოფით ეფექტს, ბორით გაჯერებული ევტექტიკის წარმოქმნას და ლითონის სიმყიფეს.

ბორი ოპტიმალური კონცენტრაციის 0,001-0,0025% დიაპაზონში ექვივალენტურია 1,33% Ni + 0,31%Cr + 0,04%Mo ზემოქმედებისა რაც მის მცირე შემცველობის პირობებში ეკონომიკურად მომგებიანს ხდის.

როგორც აღინიშნა ჩვენს მიერ ჩატარებული სამუშაოს მიზანს წარმოადგენდა:

1. მლღვობი შპატის(CaF₂), როგორც ეკოლოგიაზე მავნე ზემოქმედების შენაერთის სხვა რეაგენტით ჩანაცვლება;

2. ბორისშემცველი შემადგენლობის ფუძე წილების შემუშავება, რომლებიც უზრუნველყოფენ ეფექტურ დესულფურაციას;

ჩატარებული იქნა ექსპერიმენტული დნობები ნახშირბადიანი ფოლადის ბორისშემცველი მინარევების მქონე წიდებით დამუშავებისა. გამოდნობილი იქნა ხუთი ნაღობი ფოლადი CT. 3CII(მშვიდი) მარკის, ГОСТ 380-2005 სტანდარტის.

შესაბამისი მოთხოვნებით. აღნიშნული სტანდარტი ჰარმონიზებულია საერთაშორისო სტანდარტებთან ISO 630:1995, ISO 1052:1982. [31].

ცხრილი 2. ფოლადის ქიმიური შემადგენლობა

ფოლადის მარკა	ГОСТ 380-2005 სტანდარტით ელემენტების ქიმიური შემადგენლობა				
	ნახშირბადი	მანგანუმი	სილიციუმი	ფოსფორი	გოგირდი
CT 3CII	0,14-0,22	0,40-0,65	0,05-0,15	მაქს. 0,050	მაქს. 0,050

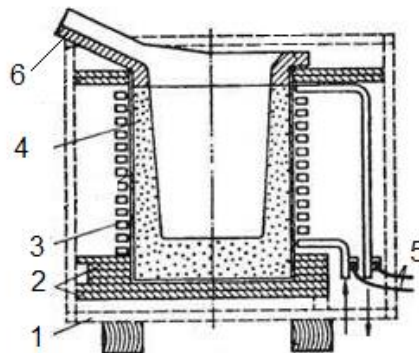
შედარების მიზნით ერთი დნობა დაეთმო წიდაწარმომქმნელ მინარევს, რომელშიც ვიყენებდით მლღვობ შპატს, ორი დნობა ბორისშემცველ მინერალს კოლემანიტის და ორი დნობა ჩატარდა გამომწვარი ბორატული მადნის გამოყენებით. წიდაწარმომქმნელი რეაგენტების შემადგენლობა და რაოდენობები მოცემულია ცხრილში 3.

ცხრილი 3. წიდაწარმომქმნელი მასალების რაოდენობა და შემადგენლობა

#	მასალების დასახელება	დნობების სერია, ხარჯი, %				
		1	2	3	4	5
1	კირი - CaO>85%	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0

2	წიდაწარმომქმნელი მინარევი, 40%CaO, 35% MgO, 5% SiO ₂ და	12,0	11,0	13,0	13,0	13,0
3	მეორადი ალუმინის წარმოების ნარჩენები: 65%Al ₂ O ₃ , 4%CaO, 4%SiO ₂ , 2%MgO	13,0	14,0	13,0	12,0	12,0
4	ბორისშემცველი მინერალი კოლემანიტი: 35%B ₂ O ₃ , 20-30%CaO, 3-7% SiO ₂ , 0,2%S	20,0	20,0	0,0	0,0	0,0
5	გამომწვარი ბორატული მადანი: 30-35%B ₂ O ₃ , 15%CaO	0,0	0,0	20,0	20,0	0,0
6	მლღობი შპატი CaF ₂ არანაკლები 65% (მარკა ΦK-65 SiO ₂ -30%)	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0

ფოლადის წიდებით დამუშავების პროცესების მოდელირებისათვის ვიყენებდით 200კგ ტევადობის ინდუქციურ ღუმელს YH-0.2T. დნობის ციკლით - 50 წთ. ძაბვა 380/50 ვოლტი. ტრანსფორმატორი სიმძლავრით - 250 კვტ.



ნახ. 4. 200კგ ტევადობის ინდუქციური ღუმელი

1. კარკასი;
2. ქვედის ფილა;
3. ინდუქტორი;
4. ტიგელი;
5. დრეკადი კაბელი;
6. ჩამოსასხმელი ცხვირი.

ინდუქციურ ღუმელში ლითონი დნება ტიგელში(ნახ.4), რომელიც მოთავსებულია ინდუქტორის შიგნით. ხოლო ინდუქტორი წარმოადგენს მაღალი გამტარობის ფერადი ლითონის სპირალურ ხვიებს. მას მიეწოდება ცვლადი დენი, რომელიც ლითონში ქმნის ცვლადი დენის ნაკადებს, რომლებიც უზრუნველყოფენ ტიგელში ჩატვირთული კაზმის გახურებას და გადნობას.

იმისათვის, რომ ზედმეტად არ გაიზარდოს ლუმელის მკვებავი გენერატორის სიმძლავრე, აგრეგატის ელექტრულ სქემაში ჩართულია კონდენსატორები, რომლებიც ინდუქტორის ინდუქციურ წინაღობას აკომპენსირებენ.

როგორც ცნობილია, ინდუქტიური წინაღობის არსებობა ცვლადი დენის წრედში იწვევს ფაზების გადაადგილებას, რის შედეგადაც მცირდება ლუმელის სიმძლავრის კოეფიციენტი $\cos\varphi$, რაც მაღალია სიხშირე მით ნაკლები ტევადობის კონდენსატორებია საჭირო.

მნიშვნელოვანი ტექნოლოგიური თავისებურებაა ინდუქციური ლუმელებისა ელექტრომაგნიტური ველების ურთიერთქმედებით გამოწვეული თხევადი ლითონის ინტენსიური ცირკულაცია. ამ მოვლენის სასარგებლო ქმედებაა ურთიერთარევის ეფექტის საშუალებით ლითონის ტემპერატურისა და შემადგენლობის გასაშუალების ეფექტი. აღნიშნული ლუმელი ავირჩიეთ მისი მოცულობიდან 200კგ და კონსტრუქციული სიმარტივიდან გამომდინარე. ამ შემთხვევაში მთავარი იყო გამდნარი ლითონის მიღება, მისი საჭირო ტემპერატურამდე გაცხელება და შემდგომ წიდაწარმომქმნელი მინარევებით დამუშავება [32].

ინდუქციურ ლუმელში, როგორც წესი, დნობა მიმდინარეობს მინარევების დაჟანგვის გარეშე, რადგანაც სხვა ლუმელებისაგან განსხვავებით ინდუქციური ლუმელის წიდები სითბოს ლითონისაგან ღებულობენ, ტემპერატურა დაბალი აქვთ და დეფოსფორაცია და დესულფურაცია გამწელებულია. ამიტომ მნიშვნელოვანია ლუმელში კაზმის წინასწარი ანგარიშით შედგენა, იმის გათვალისწინებით, რომ ნახშირბადი, გოგირდი და ფოსფორი ნორმის ფარგლებში უნდა იყოს. თუმცა ჩვენს შემთხვევაში მთავარი მაინც წიდაწარმომქმნელი მინარევების ეფექტურობის კვლევაა, მათი ფოლადში მიწოდების შემდეგ.

როგორც ზემოთ აღინიშნა, ორიენტაცია გავაკეთეთ ნახშირბადიანი ფოლადის(CT.3CII) გამოდნობაზე, როგორც პრაქტიკაში საერთაშორისო ბაზარზე ყველაზე რაოდენობრივად მაღალი მოთხოვნის ფოლადზე.

მეტალურგიული პრაქტიკიდან გამომდინარე ბორისშემცველი ფეროშენადნობების თხევად ფოლადში მიწოდების ძირითადი მეთოდებია: ციცხვში ფხვნილოვანი მავთულით ტრაიბ აპარატის საშუალებით, ციცხვის ქვედიდან ფორებიანი საცობის ანდა საჩამოსხმო ციცხვში ღუმელიდან ფოლადის გამოშვებისას პირდაპირ ფოლადის ჭავლზე დამატებით. ჩვენს შემთხვევაში წიდაწარმომქმნელი მინარევით ფოლადის დამუშავება ღუმელიდან 200 კგ ტევადობის ციცხვში ფოლადის გამოშვებისას გადავწყვიტეთ, წინასწარ მინარევების ციცხვის ფსკერზე ჩატვირთვით. ეს მეთოდი მარტივი და პრაქტიკულია, რადგანაც ღუმელიდან ფოლადის გადასხმისას ფოლადის ჭავლი ხელს უწყობს მინარევების სწრაფად გადნობასა და დასამუშავებელი ფოლადის ქიმიურ და ფიზიკურ გასაშუალებას, ლითონის მთლიანი მასის ერთგვაროვნების მისაღწევად. ეს საკითხი განსაკუთრებით აქტუალურია გამომდინარე ღუმელის პატარა მოცულობისა და ფოლადის ტემპერატურის სწრაფი შემცირებისა [33, 34].

წიდაწარმომქმნელი მინარევის ქიმიური შემადგენლობის დასადგენად, ღუმელში გადნობის შემდეგ ვახდენდით სინჯების აღებას, რომლებიც მოცემულია ცხრილში 2. წიდის შემადგენლობის განსაზღვრას აღებული წიდის სინჯებიდან ვახდენდით რენდგენული სპექტროსკოპით Philips PW 2400. წიდას გაციების შემდეგ ვაქუცმაცებდით <4მმ ფრაქციამდე ჯერ ყბებიან მსხვრეველაზე, შემდეგ ცენტრიდანულ წისქვილზე დაგვყავდა 0,5მმ და 0,08მმ ფრაქციამდე და ვსინჯავდით XRF სპექტრომეტრით. ცხრილ 2-ში მოცემულია ხუთივე დნობაზე აღებული წიდის სინჯების ქიმიური შემადგენლობა.

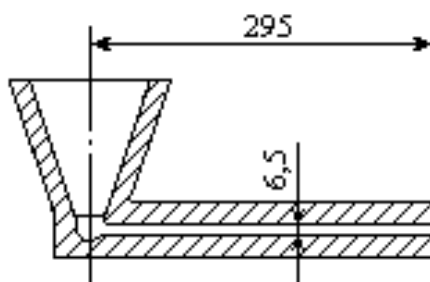
ცხრილი 4. წიდის სინჯების ქიმიური შემადგენლობა.

დნობა #	CaO	SiO ₂ ,	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaF ₂	B ₂ O ₃
1	57,0	6,1	19,0	0,6	1,5	0,0	9,3
2	54,0	7,4	20,0	0,8	1,3	0,0	8,7
3	58,0	6,6	17,0	1,1	1,0	0,0	11,6
4	54,0	7,8	23,0	1,0	1,4	0,0	10,1
5	55,0	7,0	19,0	0,5	1,5	16,0	0,0

ცხრილი 5. წიდების ფუძიანობა

დნობა #	წიდის ფუძიანობა	
1	58,5 /35,0	1,67
2	55,3/35,4	1,56
3	59,0/36,3	1,62
4	55,4/41,9	1,32
5	56,5/42,0	1,35

დაკვირვებას ვაწარმოებდით წიდის თხევადდენადობაზეც, ამისათვის გამოვიყენეთ მარტივი, მაგრამ საწარმოო პირობებში ეფექტური ხელსაწყო - ჰერტას ვისკოზიმეტრი, რომელიც სურ. 6-ეა მოცემული.



ნახ. 5. ჰერტას ვისკოზიმეტრი

ცხრილი 6. წიდების თხევადდენადობა

დნობა #	წიდის ხევადდენადობა
1	80,0
2	120,0
3	105,0
4	165,0
5	150,0

წიდის თხევადდენადობაზე დაკვირვების მეთოდიკა მარტივი და პრაქტიკულია. თხევადი წიდა ისხმება ვისკოზიმეტრის ძაბრში. წიდა 6,5 მმ დიამეტრის ჰორიზონტალურ არხში თხევადდენადობიდან გამომდინარე

გადაადგილდება შესაბამის სიგრძეზე. ათვლა წარმოებს ვისკოზიმეტრის ძაბრის ღერძის ცენტრიდან გამყარების ნიშნულამდე მიმლომეტრებში.

ფოლადის გამოდნობის შემდეგ ხდებოდა ნადნობის 10-20 წუთით დაყოვნება და ქიმიური შემადგენლობის დასადგენად სინჯის აღება. ნადნობის ტემპერატურის კონტროლი ხორციელდებოდა PR-6/30 თერმოწყვილით. ცხრილში მოცემულია თხევადი ლითონის ტემპერატურა გამოშვების წინ.

ცხრილი 7. ლითონის ტემპერატურა გაშვების წინ

დნობა	ტემპერატურა, T ლ
1	1621°C
2	1626°C
3	1623°C
4	1620°C
5	1622°C

საჭირო ტემპერატურაზე ვახდენდით განჟანგვას ტრადიციული გამჟანგველებით: ფეროსილიციუმით, სილიკომანგანუმით და ბოლოს ალუმინით. ჩვენს შემთხვევაში ნახშირბადიანი ფოლადში CT. 3CII, ნორმირებული გოგირდის შემცველობაა არა უმეტესი 0,050%.

სულ გამოვადნეთ ზემოთაღნიშნული მარკის ფოლადის ხუთი დნობა. ღუმელიდან ლითონს უშვებდით 200კგ ტევადობის მქონე ციცხვში, რომელშიც ცხრილ 1. მიხედვით შედგენილი კომპოზიციებით წინასწარ ვტვირთავდით 5 კგ/ტონაზე ანგარიშით წიდაწარმომქმნელ მინარევებს. მასალების ხარჯის მაჩვენებლები ტონა ფოლადზე მოცემულია ცხრილ 3.-ში

ცხრილი 8. მასალების ხარჯი ტონა ფოლადზე

#	მასალების დასახელება	ხარჯი კგ/ 1ტ-ზე
1	კირი	2,75
2	მაგნეზიალური ფლუსი	0,6
3	ალუმინის წარმოების ნარჩენები	0,65
4	კოლემანიტი	1,0
5	გამომწვარი ბორატული მადანი:	1,0
6	მლღვობი შპატი	1,0

ინდუქციურ ღუმელში გამოდნობილი და განჟანგული 1620°C ტემპერატურამდე გაცხელებული ფოლადის ხიდურა ამწის დახმარებით ვასხავდით ციხვში.

ფოლადის წიდაწარმომქმნელი მინარევებით დამუშავების შემდეგ ვახდენდით მიღებული ფოლადის ქიმიური შემადგენლობის განსაზღვრას, რომელიც მოცემულია ცხრილში 9.

ცხრილი 9. მიღებული ფოლადის ქიმიური შემადგენლობის

#	C,%	Si,%	Mn,%	P,%	S,%	B,%
1	0,21	0,23	0,47	0,03	<u>0,035</u> 0,012	0.001
2	0,19	0,21	0,42	0,026	<u>0,038</u> 0,014	0.00095
3	0,22	0,19	0,40	0,029	<u>0,039</u> 0,025	0,0
4	0,18	0,24	0,48	0,027	<u>0,031</u> 0,020	0,0
5	0,21	0,22	0,52	0,03	<u>0,036</u> 0,031	0,0

გოგირდის შემადგენლობის მაჩვენებელ გრაფაში მრიცხველში მოცემულია გოგირდის შემცველობა ლითონის წიდებით დამუშავების წინ, ხოლო მნიშვნელში მინარევებით დამუშავების შემდეგ. წიდაწარმომქმნელი მინარევების ხარჯი, როგორც აღინიშნა შედგენილი იყო 5 კგ/ტონა ფოლადზე ანგარიშით [35].

დესულფურაციის დონემ დნობების ნუმერაციის მიხედვით შეადგინა:

ცხრილი 10 . დესულფურაციის შედარებითი მაჩვენებლები

#	გოგირდის მაჩვენებლები	%
1	0,035-0,012=0,023	65,7%
2	0,038-0,014=0,024	63,3%
3	0,039-0,025=0,014	35,9%
4	0,031-0,020=0,011	35,5%
5	0,036-0,025=0,011	30,6%

როგორც ცხრილიდან ჩანს, მლღობი შპატის გამოყენებით მიღებული მინარევით ფოლადის დამუშავებისას დესულფურაციის ეფექტმა შეადგინა 30,6%. ბორატული მადნით დამუშავების პირობებში დესულფურაციის ეფექტი 35,9% და 35,5%-ია. განგოგირდების მაღალი მაჩვენებელი მივიღეთ კოლემანიტით დამუშავებული ფოლადის პირობებში 65,7% და 63,3%.

ექსპერიმენტალურმა დნობებმა აჩვენა, რომ მლღობი შპატის ბორისშემცველი მასალებით, ბორატული მადნითა და კოლემანიტით შეცვლის შემთხვევაში წიდის თხევადდენადობამ და დესულფურაციის პოტენციალის გათვალისწინებით სავსებით შესაძლებელია მლღობი შპატის კოლემანიტით ჩანაცვლება. ამასთან მზა ფოლადებში ბორის აღდგენა დაფიქსირდა 0,001% და 0,0095% წიდაში არსებული ბორის ანჰიდრიდიდან. ამასთან გამოყენებული ბორი მცირე რაოდენობიდან გამომდინარე არ იწვევს შპატიდან ფტორის მავნე ეფექტის მაგვარ საშიშროებას ანუ ადასტურებს ეკოლოგიურად მისი გამოყენების შესაძლებლობას.

ჩავატარეთ წიდაწარმომქმნელი მინარევით დამუშავებული ფოლადის მიკროსტრუქტურული კვლევები. ამისათვის გამოვიყენეთ მიკროსკოპი Neophot-21.

სხვადასხვა მდგომარეობაში ფოლადის სტრუქტურული აგებულების საფუძვლიანი გამოკვლევის მიზნით მიკროსტრუქტურები შევისწავლეთ 400 ჯერ გადიდებით[36].

ჩატარებული სტრუქტურული კვლევების მიზანი იყო დაგვედგინა თუ რა ცვლილება მოხდა ფოლადის მინარევებით დამუშავების შემდეგ.

ნაღნობს, რომელიც არ შეიცავდა ბორს ფერიტის ფაზასთან ერთად, აღენიშნებოდა მცირე რაოდენობით პერლიტის სტრუქტურა. ფოლადის ბორით მიკროლეგირებას თან სდევს დისპერსიული ფერიტო-ბეინიტური სტრუქტურის ჩამოყალიბება, რომელიც შედგება წვრილმარცვლოვანი ფერიტისა და ადგილ-ადგილ ბეინიტის ზოლებისაგან. ფოლადის სტრუქტურის დისპერსიულობა ხასიათდება ფერიტის მარცვლის შემცირებით 8,7 მკმ დან 6,8 მკმ-მდე. ბორით ფოლადის მიკროლეგირებამ ფაქტიურად არ იმოქმედა აუსტენიტის მარცვალზე.



სურ. 1.

CT. 3CII ფოლადის მიკროსტრუქტურა მლღვობი შპატის გამოყენებისას



სურ. 2

CT. 3CII ფოლადის მიკროსტრუქტურა კოლემანიტით დამუშავების შემდეგ

ბორის 0,001% არსებობისა ფოლადში ზრდის ფერიტისა და ბეინიტის მიკროსიმტკიცეს. ეს გამოწვეულია იმით, რომ ბორი არის საკმაოდ აქტიური ელემენტი, რომელიც სეგრეგირებს ფაზათშორის საზღვრებზე, რაც ხელს უწყობს ნახშირბადის კონცენტრაციის თანაბარ განაწილებას და ზრდის დისპერსიულობას და ლითონის ბორთან სტრუქტურის სიმტკიცეს [37].

მექანიკური თვისებების შედარებისას 0,001% ბორის შემცველობის პირობებში დროებითი წინააღმდეგობა ნდრ მექანიკური გამოცდისას შეადგენს 650 მპა-ს მაშინ, როდესაც ბორის გარეშე ეს მაჩვენებელი 610 მპა. დენადობის ზღვარის ნდზ მაჩვენებლებიც შესაბამისად 575 მპა 540 მპა- სთან შედარებით.

შედეგად 0,001% ბორით მიკროლეგირების დროს ფოლადში უზრუნველყოფილია:

1. წვრილდისპერსიული ფერიტო-ბეინიტური ტიპის სტრუქტურა;
2. წარმოიქმნება მრგვალი ფორმის არა უმეტეს 5 მკმ ზომის ჩანართები;
3. იძლევა სიმტკიცის გაზრდილ მაჩვენებლებს.

როგორც ზემოთ აღინიშნა, ჩვენს მიერ გამოცდილი ბორისშემცველი მინარევებით ფოლადის დამუშავება საშუალებას იძლევა გაუმჯობესდეს ლითონის ხარისხი, მლღვობი შპატის პროცესიდან ამოღებით გაუმჯობესდეს ეკოლოგიური მდგომარეობა და შემცირდეს ფოლადის თვითღირებულება, სხვა რეაგენტების წარმოების ნარჩენების გამოყენების ხარჯზე.

ჩავატარეთ ლიტერატურის კვლევა ბორისშემცველი მასალების გამოყენებისა წიდაწარმომქმნელ მინარევებში და მათი შედარება ჩვენს მიერ წარმოდგენილ კომპოზიციებთან.

მეტალურგიულ პრაქტიკაში ცნობილია ღუმელ-ციცხვში ფოლადის დასამუშავებელი მინარევი, რომელიც შედგება გამჟანგველისაგან, მლღვობი შპატისაგან, ნაჭროვანი და ფხვნილოვანი-ფლუიდიზირებული კირისაგან.

მინარევის ნაკლოვანებას წარმოადგენს დიდი დანახარჯები მის მიღებაზე. კერძოდ შპატის ხარჯი (500 კგ-ზე მეტი დნობაზე), და ფლუიდიზირებული კირის ფხვნილის ინჟექტირება ციცხვში, ამონაგის ინტენსიური ცვეთა და ეკოლოგიური სიტუაციის გაუარესება პროცესში მლღვობი შპატის გამოყენების გამო.

ცნობილია ასევე ციცხვში ფოლადის დასამუშავებელი წიდა-მინარევი, რომელიც შეიცავს ნაჭროვან კირს, მლღვობ შპატს და გრანულირებულ ალუმინს.

მინარევის ნაკლოვანებას წარმოადგენს:

- ლითონის დესულფურაციის დაბალი დონე;
- ძლიერი გამაციებელი ეფექტი კირში 16% კირქვის შემცველობის გამო;
- ციცხვის ამონაგის ინტენსიური ცვეთა;
- საერთო ეკოლოგიური სიტუაციის გაუარესება მინარევი ფტორის არესებობის გამო.

მინარევის ნაკლს წარმოადგენს დესულფურაციის დაბალი დონე, რკინის ოქსიდების მაღალი კონცენტრაცია ფორმირებულ წიდის მინარევი, გოგირდის მაღალი შემცველობა ბორატულ მადანში, ციცხვის ამონაგის ინტენსიური ცვეთა და ეკოლოგიაზე უარყოფითი ზემოქმედება.

მაგნიუმის და კალციუმის ოქსიდი, რომელსაც აღნიშნული რაოდენობით წიდასწარმომქმნელი მინარევი შეიცავს უზრუნველყოფს ციცხვში მაღალფუძიანი MgO-თი გაჯერებული ძლიერი რაფინირებისთვის საჭირო წიდის ფორმირებას და გააჩნია კირის გაცხადებული რაოდენობით განპირობებული ციცხვის ამონაგზე დაბალი აგრესიული ზემოქმედება.

ჩვენს მიერ ფორმირებული წიდასწარმომქმნელი მინარევის პრინციპიალური განმასხვავებელია მლღვობი შპატის ნაცვლად ბუნებრივი მინერალის კოლემანიტის და ალუმინის ნაცვლად მეორადი ალუმინის წარმოების ნერჩენების გამოყენება [38].

ბორის ანჰიდრიდს, როგორც მლღვობ შპატს, აქვს წიდის გამათხელებელი ეფექტი, მნიშვნელოვნად ამცირებს დნობის ტემპერატურას და წიდის სიბლანტეს, მაგრამ მლღობი შპატისაგან განსხვავებით საამქროს ატმოსფეროს მავნე მინარევებით არ აჭუჭყიანებს, გამორიცხავს თვითრღვევადი წიდების ფორმირებას და, როგორც შედეგი, აუმჯობესებს ეკოლოგიურ მდგომარეობას საწარმოში. ამას გარდა, ბორის განაწილება წიდასა და ლითონს შორის უზრუნველყოფს ფოლადის ხარისხის გაუმჯობესებას ბორით მიკროლეგირების ხარჯზე.

კოლემანიტის გაცხადებული რაოდენობით 20% წიდის მინარევი,

ციცხვში ფორმირდება მაღალფუძიანი მაგნეზიალური წიდა, მაღალი რაფინირების უნარის მქონე თვისებებით, რაც საშუალებას იძლევა ლითონში გოგირდის შემცველობა დაიყვანოს არა უმეტეს 0,012-0,014% (საწყისი შემადგენლობა 0,035-0,038%). ინარჩუნებს ნაკლებ აგრესიულ ზემოქმედებას ციცხვების პერიკლაზნახშირბადიან ამონაგზე, უზრუნველყოფს ბორით ფოლადის 0,001-0,002% მიკროლეგირებას, აუმჯობესებს ფოლადის ხარისხის და ეკოლოგიურ სიტუაციას.

წიდა-მინარევში კოლემანიტის უფრო ნაკლები შემცველობის პირობებში წარმოქმნილი წიდა ვერ უზრუნველყოფს ღრმა დესულფურაციას წიდის მაღალი სიბლანტისა და ჰეტეროგენიზაციის გამო. ხოლო მინარევში კოლემანიტის უფრო მეტი შემცველობა გაზრდის ამონაგის ცვეთას ფორმირებული წიდის მაღალი აგრესიულობის გამო.

წიდის მინარევში მეორადი ალუმინის წარმოების ნარჩენების გაცხადებული რაოდენობა 12-14% განპირობებულია ციცხვში თხევადდენადი რაფინირებადი მაღალფუძიანი წიდების ფორმირების მიზნით, ნარჩენებში Al_2O_3 შემცველობის ხარჯზე CaO -ს თხევად მდგომარეობაში სწრაფად გადასაყვანად.

მინარევში ალუმინის ნარჩენების უფრო ნაკლები რაოდენობის შემთხვევაში ლითონის ღრმა დესულფურაცია ვერ განხორციელდება ფორმირებული წიდის მაღალი სიბლანტის გამო. ალუმინის ნარჩენების უფრო მეტი შემცველობის შემთხვევაში შეიცვლება მხოლოდ ხარჯი და რაფინირების შემდგომ გაუმჯობესებაზე გავლენას ვეღარ ახდენს.

წიდაწარმომქმნელი მაგნეზიტის შემცველი მინარევის გაცხადებული რაოდენობა 11-12% უზრუნველყოფს ციცხვში მაღალფუძიანი მაგნეზიალური წიდის ფორმირებას, ციცხვის ამონაგზე დაბალი აგრესიული ზემოქმედებით და უზრუნველყოფს ფოლადში გოგირდის საბოლოო კონცენტრაციას 0,012-0,015%. მაგნეზიალური ფლუსის ნაკლები შემცველობის შემთხვევაში ციცხვში ფორმირებული წიდა ვერ შეინარჩუნებს მაღალი რაფინირების უნარს და უფრო მოიმატებს მისი აგრესიული ზემოქმედება ციცხვის ამონაგზე. ხოლო, მაგნეზიალური ფლუსის მინარევში უფრო მაღალი კონცენტრაციის პირობებში ექნება ნაკლები აგრესიული ზემოქმედება ციცხვის ამონაგზე, მაგრამ ვერ

უზრუნველყოფს ფოლადის ღრმა დესულფურაციას მისი მაღალი ჰეტეროგენიზაციისა და სიბლანტის გამო.

კირის შემცველობის გაცხადებული რაოდენობა მინარევში განპირობებულია ციცხვში მაღალფუძიანი ღრმა რაფინირების უნარის მქონე წილის ფორმირებით. ეს საშუალებას მოგვცემს ლითონში გოგირდის შემცველობა დავიყვანოთ არა უმეტეს 0,012-0,014%(საწყისი შემადგენლობა 0,035-0,038%). კირის უფრო ნაკლები ან მეტი კონცენტრაციის შემთხვევაში ციცხვში ფორმირებული წიდა ვერ უზრუნველყოფს ფოლადის ღრმა დესულფურაციას. წარმოდგენილი წიდაწარმომქმნელი მინარევი გაცხადებული შემცველობის მასალებით გააუმჯობესებს ფოლადის ხარისხს და შეამცირებს ეკოლოგიაზე ზემოქმედების ხარისხს.

ცალკე საკითხია მეორადი წარმოების ალუმინის ნარჩენების წიდაწარმომქმნელ მინარევებში გამოყენება. ერთის მხრივ ეს ფოლადის თვითღირებულების შეამცირების და მეორეს მხრივ ნარჩენების გადამუშავებას ემსახურება[39].

შემუშავებული წიდაწარმომქმნელი მინარევის გამოცდის შედეგად:

1. უმჯობესდება ლითონის ხარისხი, კერძოდ შპატის გამოყენებისას დესულფურაციის მაჩვენებელი 30,6%-დან კოლემანიტის შემთხვევაში გაიზარდა საშუალოდ 64,0% -მდე;
2. ბორი აღდგა წიდიდან ლითონში 0,001% ოდენობით, ანუ მოხდა ბორით ფოლადის მიკროლეგირება. მივიღეთ წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურა და გაუმჯობესდა ფოლადის მექანიკური თვისებები;
3. მოხდება ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესება მლღობი შპატის პროცესიდან ამოღებით და მისი ბორისშემცველი მინარევით კოლემენიტით ჩანაცვლებით;
4. რადგანაც კოლემანიტი შპატთან შედარებით 5-ჯერ იაფია, სახეზეა ეკონომიკური ეფექტი, რომელიც ფოლადის თვითღირებულების შემცირებაში აისახება;
5. ბორით მოდიფიცირება ფოლადის ჩამოსხმისას ზრდის კრისტალიზაციის ცენტრების ჩასახვის სიჩქარეს და საჩამოსხმო აგრეგატების წარმადობას.

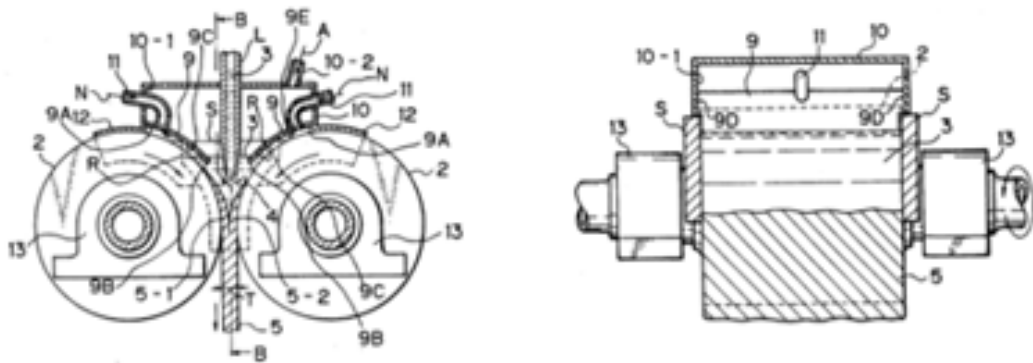
3. საჩამოსხმო მოწყობილობით ფოლადის ჩამოსხმის ტექნოლოგიის სრულყოფა

თანამედროვე მეტალურგიულ ბიზნესში, მძაფრი კონკურენციის პირობებში მეტალურგიული კომპანიები ინტენსიურად მუშაობენ ახალი საწარმოო პროცესების და დანადგარების შექმნის და არსებულის გამარტივება-განვითარების მიმართულებით საწარმოო ხარჯების შესამცირებლად და პროდუქციის ხარისხის გასაუმჯობესებლად. ასეთ პერსპექტიულ მიმართულებას წარმოადგენს ფოლადის ჩამოსხმის პროცესების ოპტიმიზაცია და ტექნიკური სრულყოფა [40-43].

ამ ეტაპზე, ჯერ კიდევ ბევრია გასაკეთებელი ფოლადის ფურცლის ზედაპირის სტაბილური და მაღალი ხარისხის მისაღებად. კერძოდ, თხელი სისქის ფურცლის ჩამოსხმის დროს საჩამოსხმო გლინების მიერ დატოვილი ანაბეჭდების უსწორმასწორო ზედაპირის სიღრმე დიდია. თერმული დამაბულობები კონცენტრირებულია ანაბეჭდებთან, რაც იწვევს მცირე ზომის ბზარებს ფურცელის ზედაპირული დეფექტების სახით. მეორეს მხრივ, სქელი კედლის სისქის ფურცლის ჩამოსხმისას, როდესაც უსწორმასწორო ჩაღრმავებები შედარებით უმნიშვნელოა სიგანესთან შედარებით, გამყარებისას წარმოქმნილი დამაბულობა არათანაბრად ნაწილდება და ამ შემთხვევაშიც ადგილი აქვს შედარებით დიდი ზომის ბზარების წარმოქმნას.

თანამედროვე მეტალურგიულ პრაქტიკაში უკვე არსებობს ორგლინიანი აგრეგატით ფოლადის ფურცლის ჩამოსხმის ტექნოლოგია. საჩამოსხმო ციცხვიდან ფოლადი ცეცხლგამძლე ჭიქის საშუალებით ორ ერთმანეთის საწინააღმდეგოდ მოძრავ გლინებს შორის სივრცეში მიეწოდება. უწყვეტი ჩამოსხმის გლინები სპილენძის შენადნობისაგან მზადდება, რომლის შიდა ზედაპირი წყლით ინტენსიურ გაციებას განიცდის, ხოლო გარედან ნიკელისშემცველი-კერამიკული მასითაა დაფარული.

საჩამოსხმო ჭიქა მოთავსებულია დამცავი ლითონის ხუფით დახურულ სივრცეში ნახ. 2., რომელსაც ორი ფოლადის მილით მიეწოდება ინერტული აირები აზოტი და არგონი [44-48].



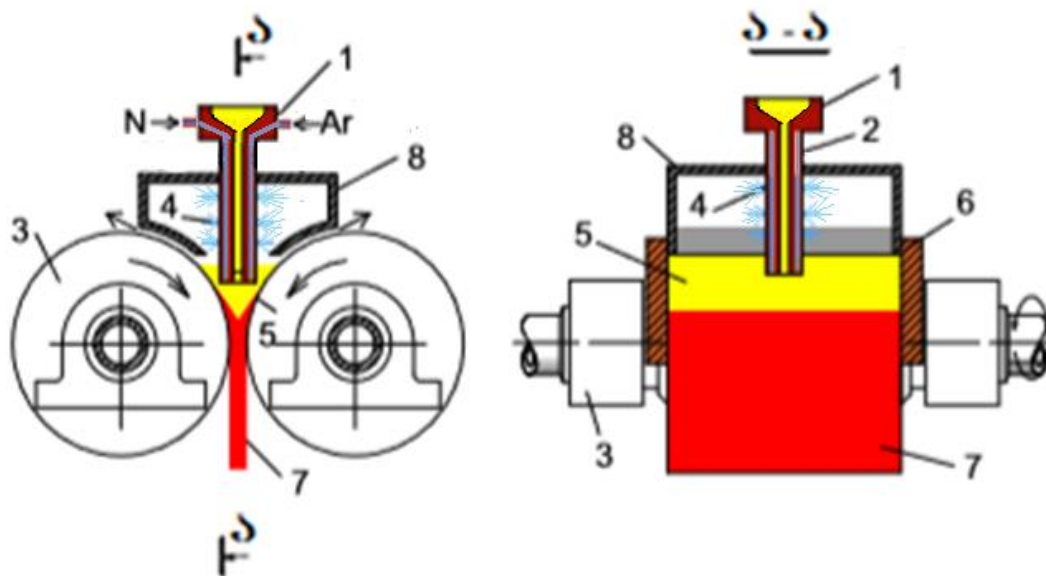
ნახ. 6. ორგლინიან აგრეგატზე ინერტული აირის მიწოდების სქემა.

ფოლადის ჩამოსხმის პროცესში ჭიქის შიდა კედლებზე თხევადი ლითონის ჰიდროსტატიკური დარტყმა და ლითონის ჩამრეცხავი ეფექტი მის შიდა კედლებს საგრძნობლად ათხელებს, ხოლო თხევადი ლითონის სარკის მაღალი ტემპერატურა ჭიქის გარე კედლებს აზიანებს. შედეგად ჩამოსხმის პროცესში აუცილებელი ხდება ძვირადღირებული ჭიქის შეცვლა (ხშირად რამოდენიმეჯერ), რაც ჩამოსხმის დროის გახანგრძლივებას იწვევს და ფოლადის თვითღირებულებაზე უარყოფითად აისახება [49- 52].

აღნიშნული პრობლემის გადასაწყვეტად ჩვენს მიერ შემუშავებულია მოწყობილობა, რომელიც წარმოადგენს ფოლადის უწყვეტი ჩამოსხმის აგრეგატზე ფოლადის გამანაწილებლიდან გლინებს შორის სივრცეში ფოლადის საჩამოსხმო ჭიქას, რომლის ორიგინალური კონსტრუქციაც უზრუნველყოფს სტაბილურად მაღალი ხარისხის ფურცელის ჩამოსხმას ზედაპირული ბზარების გარეშე [53, 54].

მოწყობილობა უზრუნველყოფს ლითონის ზედაპირზე ინერტული გარემოს შექმნას, რითაც ფოლადის ფურცელის ზედაპირს იცავს ატმოსფერული ჰაერის ზემოქმედებისაგან.

პროცესის აღწერა



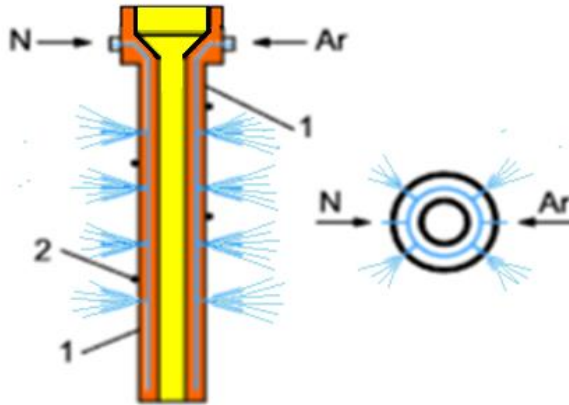
ნახ. 7. ფოლადის ფურცელის ჩამოსასხმელი ორგლინიანი აგრეგატი.

- 1-თხევდი ფოლადის გამანაწილებელი;
- 2- საჩამოსხმო ჭიქა; 3-საჩამოსხმო გლინები;
- 4-ინერტული აირის ხვრელები;
- 5-თხევადი ფოლადი;
- 6- გვერდითი დამჭერები;
- 7- გამყარებული ფოლადის ფურცელი;
- 8- მაგერმეტიზირებელი კამერა;

გამანაწილებლიდან(1) თხევადი ფოლადი(5) ჩვენი მოწყობილობის საშუალებით საჩამოსხმო მანქანის ორ გლინს(3) შორის სივრცეში მიეწოდება. გლინების ერთმანეთის საწინააღმდეგო მიმართულებით გადაადგილებით და ინტენსიური გაციებით ფოლადი გლინებთან შეხებისთანავე მყარდება (7) და ვერტიკალურად უკვე ფურცელის სახით ქვევით გადაადგილდება. აღნიშნული მიზნის მიღწევა ხდება თხევადი ფოლადის მენისკზე სხვადასხვა თანაფარდობითა და ტემპერატურით ფოლადში არახსნადი და ხსნადი ინერტული აირების აზოტისა და არგონის მიწოდებით [55-60].

საჩამოსხმო ჭიქა მზადდება ალუმინის ოქსიდისა (Al_2O_3) და გრაფიტის (C) შემადგენლობის კერამიკისაგან, რომელიც მაღალი სიმტკიცისა და ტემპერატურამედეგობისაა. ჩამოსხმის პროცესში ინერტული აირი მაგერმეტიზირებელ სივრცეში გაიფრქვევა. ინერტული აირებიდან ტექნიკურად და ეკონომიკურად ყველაზე ხელმისაწვდომი არგონი (Ar) და აზოტია (N). ჭიქის

ზედა ნაწილში არსებული შემავალი მილებიდან შესაძლებელია არგონისა და აზოტის ცალ-ცალკე ან ერთდროულად მიწოდება.



ნახ. 8. საჩამოსხმო ჭიქა ინერტული აირის სადინარი არხებით

- 1- აირგამყვანი არხები;
- 2- ტემპერატურის მზომი სენსორები;

მოწყობილობის ტანში არსებული სიცარიელების საშუალებით ინერტული აირი გაიფრქვევა ჭიქის ზედაპირზე არსებული საქმენებით, რაც ახანგრძლივებს მის მედეგობას და შესაბამისად ამცირებს მიღებული ფოლადის თვითღირებულებას. ინერტული გარემო ლითონის ზედაპირს იცავს ატმოსფერული ჟანგბადის ზემოქმედებისაგან, ამას გარდა უზრუნველყოფს სტაბილურად მაღალი ხარისხის ფურცელის მიღებას. მოწყობილობის ტექნიკური და ტექნოლოგიური გადაწყვეტა მარტივი და პრაქტიკულია. საქმენის მიერ შექმნილი ინერტული გარემო თანაბარადაა განაწილებული ლითონის ზედაპირზე, რადგანაც გაფრქვევა ხორციელდება მრავალი წერტილიდან და ამასთან მაგერმეტიზირებელი ხუფი საიმედოდაა დაცული ატმოსფერული ჟანგბადის ზემოქმედებისაგან [61-64].

ჩამოსხმის სიჩქარის რეგულირება ხდება საჩამოსხმო ჭიქის ტანში არსებული სენსორული ტემპერატურის მზომების მონაცემებზე დაყრდნობით. არხებში საჭირო ტემპერატურის ინერტული აირის გაფრქვევით მოწყობილობა უზრუნველყოფს ლითონის მაქსიმალურად დაბალ ტემპერატურაზე ჩამოსხმას მისი რეგულირების ხარჯზე. ინერტული აირის ტემპერატურის შერჩევითა და დოზირებით იზრდება საჩამოსხმო ჭიქის მედეგობა, რაც მნიშვნელოვანი

ფაქტორია მის გამოცვლაზე დაკარგული დროის და ძვირადღირებული ცეცხლგამძლე მასალების დაზოგვის გათვალისწინებით.

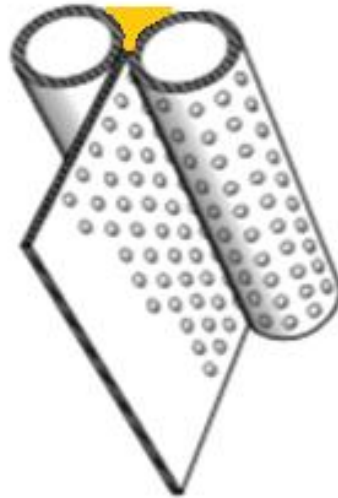
ცნობილია ანალოგიური დანიშნულების საჩამოსხმო მოწყობილობები, რომელთაგან ჩვენს მიერ შემოთავაზებულთან მსგავსებით ყველაზე ახლოსაა მოწყობილობა (US5103895A), რომელიც წარმოადგენს საჩამოსხმო არეალში ინერტული აირების გასაფრქვევ მაგერმეტიზირებელ კამერას, საჩამოსხმო ჭიქასა და ინერტული აირის გამტარ სამ ფოლადის მილს. აქედან ერთი მილის საშუალებით ხდება ინერტული აირის-არგონის გაფრქვევა, რომელიც თხევადი ლითონის სარკეს იცავს ატმოსფერული ჰაერის ზემოქმედებისაგან, ხოლო ორი დანარჩენის დანიშნულებაა საჩამოსხმო გლინების ზედაპირზე ინერტული აირის-აზოტის საშუალებით ჰაერის გამოდევნა. ფოლადის ჩამოსხმა ხორციელდება საჩამოსხმო ჭიქით [65].

ცნობილია (EP0409645A1) ასევე ანალოგიური საჩამოსხმო მოწყობილობა, რომელიც შედგება საჩამოსხმო ჭიქისა და გერმეტული კამერისაგან, რომელსაც ინერტული აირი სპეციალური მილის საშუალებით მიეწოდება.

აღნიშნულ მოწყობილობებში ინერტული აირის მიწოდება დახურული კამერის გარედან ფოლადის მილების საშუალებით ხდება, რაც ართულებს კონსტრუქციას და ფოლადის ჩამოსხმის პროცესში მის საიმედოობას ეჭვქვეშ აყენებს. მილები თხევადი ლითონის ტემპერატურის ზემოქმედების ქვეშ იმყოფებიან და ხშირია მათი მწყობრიდან გამოსვლის შემთხვევები. ინერტული აირის გაფრქვევა ორივე შემთხვევაში ერთი წერტილიდან ხდება და მისი განაწილება ლითონის ზედაპირზე არათანაბარია, შედეგად ინერტული გარემო არასაკმარისად ეფექტურია [66- 68].

თხევადი ფოლადის ტემპერატურა ჩამოსხმის წინ შეადგენს 1500°C, ამიტომ განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება თხევად ლითონთან გლინების ზედაპირის გაციების სიჩქარეს. რაც უფრო მაღალია ეს სიჩქარე და თხელია ფურცელი მით უფრო მეტი საშიშროებაა ფურცელზე ბზარების წარმოქმნისა. ამიტომაც, ასეთი ზედაპირული ბზარების აღმოფხვრისათვის გლინების ზედაპირზე ხდება სპეციალური ტექნოლოგიით ჩაღრმავებების დატანა. ჩაღრმავებებს გლინების ზედაპირზე წრიული ან ელიფსური ფორმისას

დაიტანენ [69-71].



ნახ. 9. გლინების ზედაპირზე დატანილი ჩაღრმავებები.

ჩამოსხმის პროცესში ამ ჩაღრმავებებში გლინების შემხვედრად მოძრაობისას ატმოსფერული ჰაერი გროვდება და თხევად ლითონთან კონტაქტში შედის. გარდა ამისა, თხევადი ფოლადი გლინების ზედაპირთან შეხებისას გამოყოფს მასში გახსნილ აირსაც, რომელიც მენისკთან სიახლოვეს გლინის ჩაღრმავებებით წარიტაცება და ფიქსირდება მასა და უკვე გამყარებულ ქერქს შორის. რაც ჩამოსხმული ფურცელის ზედაპირის ხარისხს აუარესებს.

ჩვენს მიერ წარმოდგენილი მოწყობილობის შემთხვევაში ფოლადში ხსნადი აირი აზოტი(N) და ფოლადში არახსნადი აირი არგონი(Ar) მიეწოდება თხევადი ლითონის მენისკის არეალში, სადაც გლინების ზედაპირის ჩაღრმავებები ეხება გამდნარ ლითონს. აირების ნაზავი გამოდევნის ატმოსფერულ ჰაერსა და ლითონიდან გამოყოფილ აირს და იკავებს გლინებზე არსებულ ჩაღრმავებებს და შთაინთქმება გამდნარი ფოლადის მიერ ჩამოსხმის პროცესში. ამიტომ გამყარებული გარსი ღებულობს ჩაღრმავებების შესაბამის ზედაპირის ფორმას, რის გამოც ძნელად ცურავს ლილვების ზედაპირზე. ამ დროს გამყარებული გარსი იკუმშება და ლითონში გახსნილი აზოტის აირი წარმოქმნის გარსის შიდა ბუმბუტებს, რითაც უზრუნველყოფს გამყარებული ფურცელის ზედაპირის ნელი გაციების ეფექტს [72-75].



ნახ. 10. გამყარებული გარსის ზედაპირის ცვლილება

- ა) გამყარების ადრეული ეტაპიდან;
- ბ) გამყარების ბოლო ეტაპამდე(ბ).

როგორც მე-8 ნახაზიდან ჩანს, გამყარებული ფურცელის გარსის ამობურცული ადგილები უფრო ნელა ცივდება ინერტული აირის შრის არსებობის გამო, ხოლო პერიფერიული ნაწილი ოფრო სწრაფად, რადგანაც საჩამოსხმო გლინის ნაჭდევებთანაა შეხებაში, აქედან გამომდინარე უფრო დამაბულიც. ეს ფაქტორები გამორიცხავს გამყარებული ფოლადის ფურცელის ზედაპირზე ბზარების წარმოქმნას. გლინის ზედაპირზე არსებული ყველა ჩაღრმავება თავისთავად გამორიცხავს აირის ზედმეტობას და წარმოქმნის გამყარებული ფოლადის ფურცელზე ერთგვაროვან სწორ ზედაპირს.

თუ ჩაღრმავებები ატმოსფერულ ჰაერის ნაცვლად ინერტულ აირს წარიტაცებენ, რომელიც თხევად ფოლადში იხსნება (N აზოტი), გლინების ზედაპირზე მაშინვე არ წარმოიქმნება მყარი ქერქი, მაგრამ ინერტულ აირს შეუძლია სწრაფი გაფართოვება გამდნარი ფოლადით ან გამყარებული ქერქით. ხოლო თუ ინერტული აირი უხსნადია, როგორცაა არგონი, მას შეუძლია წარმოქმნას ნაჭდევები გამაცივებელი ელემენტების ზედაპირზე შესაბამის ჩაღრმავებებში. ნაჭდევები გამყარებულ ქერქს აიძულებს თავი- სუფლად ისრიალოს გამაცივებელ ელემენტებზე, როდესაც გამყარებული ქერქი იკუმშება და თბური დატვირთვების კონცენტრირება ხდება ქერქის სუსტ ადგილებში და წარმოიქმნება დიდი ზედაპირული ბზარები [76-84].

როგორც ზემოთ აღინიშნა, საჩამოსხმო გლინების ზედაპირზე დატანილი ჩაღრმავებები თუ შევავსეთ ფოლადში ხსნადი აზოტის(N₂) აირით, ფურცელის გამყარებულ ზედაპირზე წარმოქმნის გამობურცულ ადგილებს, ხოლო, თუ მივაწვდით არასხნად არგონის(Ar) აირს მასზე წარმოქმნის ნაჭდევების მსგავს ჩაღრმავებებს. აქედან გამომდინარე, აზოტისა და არგონის აირების სხვადასხვა პროპორციით ჩამოსხმის არეალში მიწოდებით შესაძლებელია ფოლადის

ფურცელის ზედაპირის ხარისხის რეგულირება. ამას გარდა, აღნიშნული-
მიწოდებული აირების ტემპერატურის რეგულირებით შესაძლებელია, ერთის
მხრივ, ჭიქის ზედაპირის დაცვა და საექსპლოატაციო ხანგრძლივობის გაზრდა
და, მეორეს მხრივ, ჩამოსხმის პროცესში ფურცელის ზედაპირის ხარისხის
რეგულირება. თუ გლინის ზედაპირზე ჩაღრმავებების სიმაღლე 0,1
მილიმეტრზე ნაკლები იქნება, ერთის მხრივ, მათი დატანა იქნება რთული და,
მეორეს მხრივ, ნელი გაციების სათანადო ეფექტს ადგილი არ ექნება, ხოლო, თუ
სიმაღლე 1,2 მმ-ზე მეტი იქნება, შეიძლება ადგილი ჰქონდეს ფურცელის
ზედაპირზე პატარა ბზარების წარმოქმნას.

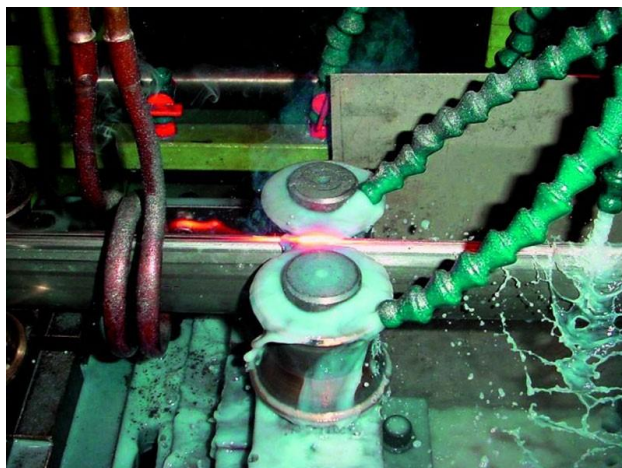
ჩვენ საჩამოსხმო მოწყობილობა უზრუნველყოფს:

1. ინერტული აირების ტემპერატურის რეგულირებით და არსებულ არხებში
გადაადგილებით ჩამოსხმის მთელი დროის მანძილზე ჭიქის სტაბილურ
მედეგობას;
2. თხევადი ფოლადის მენისკის თავზე ინერტული აირის გარემოს შექმნას, ანუ
ფოლადის დაცვას ატმოსფერული ჟანგბადის ზემოქმედებისაგან;
3. ძვირადღირებული საჩამოსხმო ჭიქის ხარჯის შემცირებით ფოლადის
თვითღირებულების შემცირებას;
4. აზოტისა და არგონის ხარჯის რეგულირებით ჩამოსხმული ფურცელის
ზედაპირის ხარისხის გაუმჯობესებას.

4. მილების წარმოების პროცესში ნაკერის ინერტული აირით დაცვის ტექნოლოგიის შემუშავება

ნაკერიანი მილები იწარმოება შემდეგი ტექნოლოგიით:

1. დასაწყისში ხდება რულონებად დახვეული ფოლადის ფურცელის დაჭრა. ეს ოპერაცია სრულდება გრძივად ფურცელის დაჭრის აგრეგატზე, რომელიც გამოირჩევა მაღალი მწარმოებლობით და სხვადასხვა სისქის ფურცელის დაჭრის ფუნქციით. გრძივად დაჭრილი ფურცელი, რომელსაც შტრიფსი ეწოდება, მაღალი სიზუსტით უნდა იყოს დაჭრილი რათა შედუღებისას უზრუნველყოფილი იქნას ნაპირების ზუსტი თანხვედრა.
2. შტრიფსის გასწორება. ამ ეტაპზე ლითონის ტალღოვნების გამოსასწორებლად შტრიფსს ჰორიზონტალურად დაწყვილებული გლინების მოდულში ატარებენ[85].
3. შტრიფსის ბოლოების შედუღება. ეს ოპერაცია საშუალებას იძლევა უზრუნველყოთ მილის მწარმოებელი დგანის შეუჩერებელი-უსასრულო წარმოება. შედუღება ხდება ნახევრადავტომატურ ან მთლიანად ავტომატიზირებულ აგრეგატებში.
4. შემდეგი სტადიაა მილნამზადის მიღება, ანუ შტრიფსის დაფორმება მილის მოყვანილობამდე, რომელიც ხორციელდება შტრიფსის ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ გლინებში გატარებით. ბოლო გლინების ჯგუფი შტრიფსს აძლევს მილის ფორმას და მზადაა შესადუღებლად.



სურ 3. მილის შედუღების კვანძი

5. სწორი ნაკერის მიიღება შედუღება-შედნობით. ამისათვის გამოიყენება მაღალი სიხშირის გენერატორი, რომელიც მაღალი სიხშირის დენის საშუალებით სამილე ნამზადს აცხელებს შელღვობის ტემპერატურამდე და შემდგომ გლინების ჯგუფის საშუალებით შტრიფსის ნაპირებს ერთმანეთთან მიბჯენით შეაღვობს [86].
6. შემდგომ ეტაპზე მილის გადაადგილებისას სპეციალური საჭრისებით იხსნება მილის ზედაპირზე დარჩენილი ნადული და მილის შედუღების ადგილი ფაქტიურად ისეთივე ზედაპირისა ხდება როგორც მილის მთლიანი ტანი.
7. შემდგომი ეტაპია მზა მილის დაკალიბრება, რაც ხორციელდება რამოდენიმე ვერტიკალური და ჰორიზონტალური გლინების ჯგუფში მილის გატარებით. ამ ეტაპზე ხდება მილის საჭირო დიამეტრისა და ფორმის ერთგვაროვნების უზრუნველყოფა.
8. თუ საჭიროა პროფილური მილების წარმოება, მრგვალ მილს გაატარებენ მაპროფილებელ დგანში საჭირო გეომეტრიის პროფილი მილის მისაღებად.
9. შემდგომში ხდება მილების ავტომატური-მაღალტექნოლოგიური ხერხით საჭირო ზომებზე დაჭრა, დაპაკეტება და სპეციალური ლითონის ლენტით შეკვრა მომხმარებლებისათვის ტრანსპორტით მისაწოდებლად [87].

მილების წარმოების პროცესში, შედუღების კვანძში გარკვეულ პირობებში ადგილი აქვს ნაკერის ტანში ე.წ. ცივი ბზარების ანუ ფლოკენების წარმოქმნას.

საერთაშორისო პრაქტიკიდან გამომდინარე ბზარები ნაკერის 200°C ქვემოთ გაციებისას წარმოიქმნება, რომლის ჩასახვის მიზეზიც ნაკერში არსებული წყალბადის და წრთობის სტრუქტურების ფორმირებაა. ისეთი დეფექტები, როგორცაა ბზარები განსაკუთრებით საშიშია, რადგანაც შეუძლიათ გამოიწვიონ კონსტრუქციის ან ნეკეთობის რღვევა.

მრავალრიცხოვანი გამოკვლევების საფუძველზე ფოლადის წარმოებაში დადგენილია წყალბადის უარყოფითი ზეგავლენა ფოლადის თვისებებზე. შედუღებისას კი ლითონის გაღვობა და გამყარება იმდენად სწრაფად მიმდინარეობს, რომ გართულებულია წყალბადის ნაკერის ტანიდან გამოყოფა და მოცილება [88].

ექსპერიმენტალურად დადგენილია, რომ ბზარების, ანუ ფლოკენების, არსებობის ძირითადი ფაქტორი ლითონში წყალბადის არსებობაა, რაც

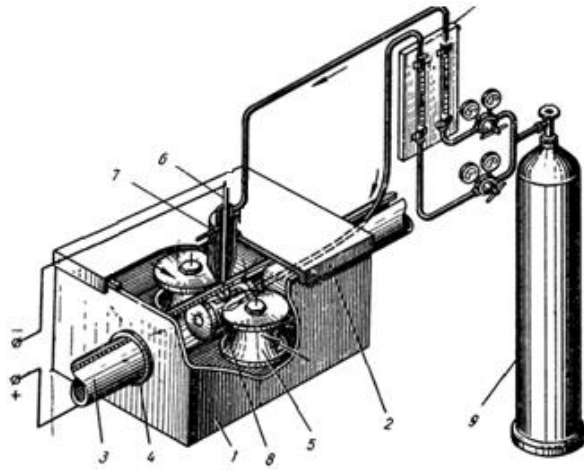
ფოლადში ჭარბი წყალბადის შემცველობის ზონების არსებობაზე მიუთითებს და მისი კონცენტრაციის მომატება ფლოკენების რაოდენობის მომატებას იწვევს.

ამავე დროს უნდა აღინიშნოს კრისტალიზაციის პროცესში აირების გამოყოფის შედეგად წარმოქმნილი ფორების-სიცარიელების შესახებ მ.შ. ნაკერის ტანში წყალბადის გამოყოფისას. ამ შემთხვევაში წყალბადის გამოყოფა შეფერხებულია გამყარების პროცესში მისი ხსნადობის ცვალებადობიდან გამომდინარე [89-90].

ხოლო ნაკერის წყალბადით გამდიდრების მთავარ წყაროს ჰიგროსკოპიული ტენიანობა წარმოადგენს, ისევე როგორც ფურცელის კიდეების ჟანგის ტენიანობა. ამას გარდა, გამაციებელი წყლის ზემოქმედება ნადულზე არღვევს ფოლადის ნორმალურ აგებულებას და შედუღების ადგილი დებულობს მსხვრევად სტრუქტურას. ასეთი სახის დეფექტები, მსხვრევადი კრისტალებსმორის რღვევისა გვხვდება, როგორც ნახშირბადიან ისე ლეგირებულ ფოლადებში თუ ისინი წარმოების პროცესში ნაწილობრივ ამ მთლიანი წრთობის ზემოქმედებას განიცდიან.

ფურცელის შედნობის ადგილზე ფოლადის კრისტალური სტრუქტურისა და საჭირო სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად საჭირო ხდება მილების თერმული დამუშავება, კონტროლირებადი გახურება-გაციება, რაც წარმოების ტექნოლოგიის გართულებასა და დამატებითი ხარჯებით გაწევასთანაა დაკავშირებული.

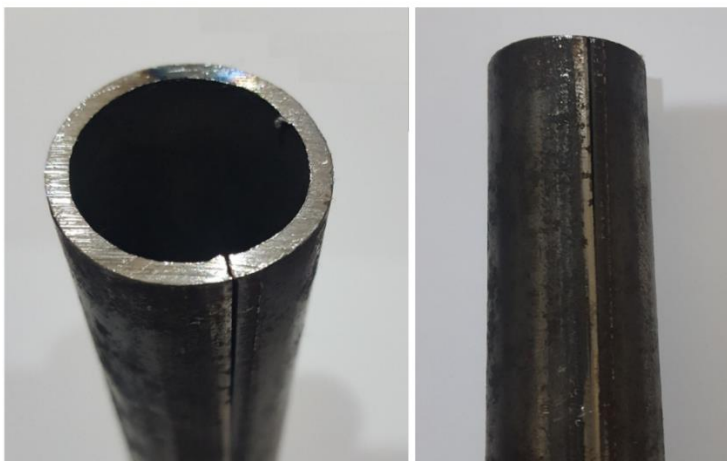
უქანგავი ფოლადების წარმოებისას ამ მოვლენის აღსაკვეთად იყენებენ დახურულ კამერას, სადაც შედუღების სივრცეში ინერტულ აირს არგონს მილის ზედაპირზე 0,2—0,5ატმ, ხოლო მილის შიგნით 0,3—1,0 ატმ წნევით მიაწვდიან [91].



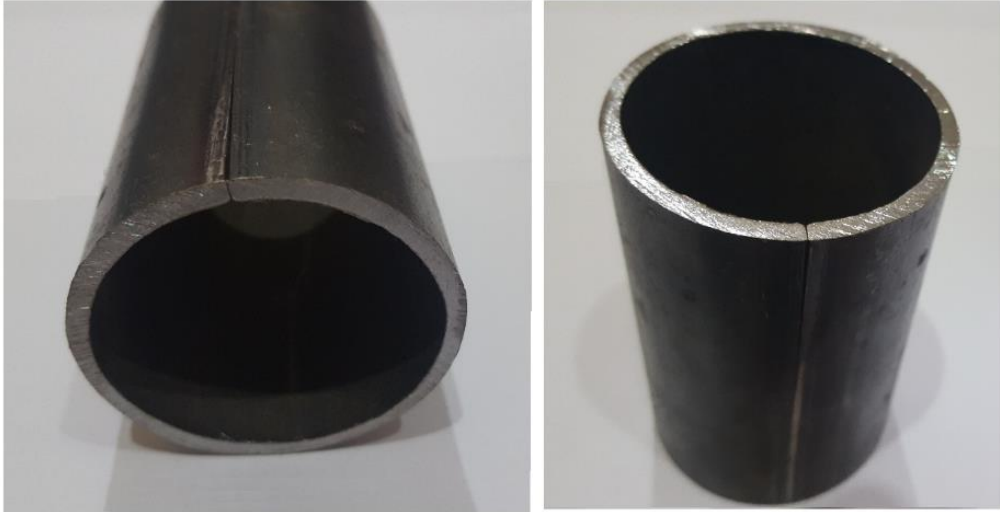
ნახ. 11. არგონით ნადულის დაცვა უჟანგავი ფოლადის მილების წარმოებისას

1. დახურული კამერა;
2. სახურავი;
3. შესადუღებელი მილი;
4. მაგერმეტიზი- რებელი რგოლი;
5. საყრდენი გლინები;
6. ვოლფრამის ელექტროდი;
7. შემადუღებელი საჭმენი;
8. მილის შიდა არეალში აირის მისაწოდებელი მოწყობილობა;
9. არგონის ბალონი.

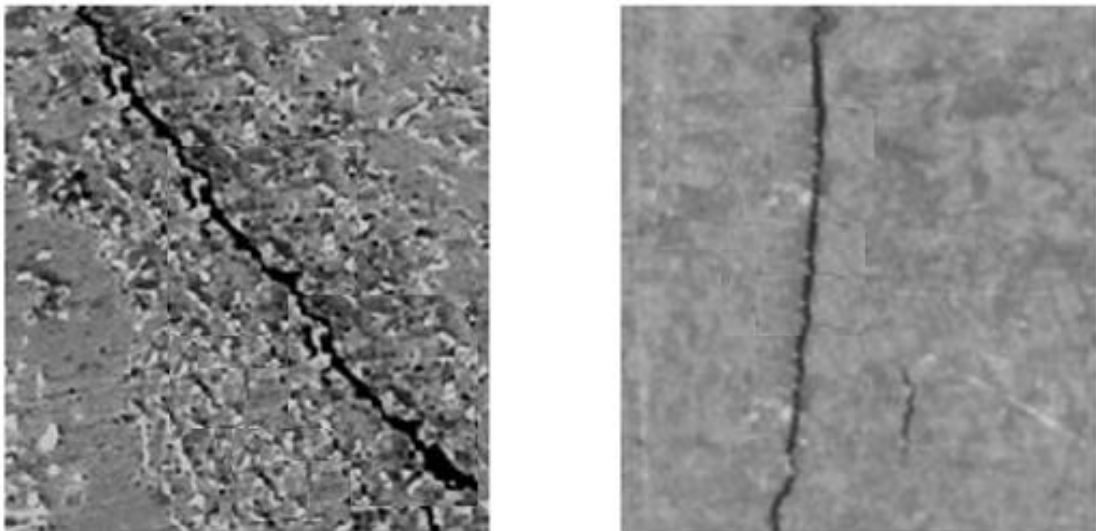
მიუხედავად იმისა, რომ ჩვენს შემთხვევაში მილების წარმოებისათვის ვაძნობთ, ვასხავთ და ვიყენებთ ნახშირბადიანი ფოლადის ფურცელს, რომელიც უჟანგავი ფოლადებისაგან განსხვავებით ნაკლებადაა მიდრეკილი შედუღების პროცესში ნადულში წყალბადის წარმოქმნისაკენ, მაინც ხშირად ადგილი აქვს მილებზე ბზარების წარმოქმნას, რაც ნადულთან ატმოსფერული ჰაერის კონტაქტითაა განპირობებული.



სურ. 4. 32 მმ დიამეტრის დეფექტული მილი



სურ. 5. 63 მმ დიამეტრის დეფექტული მილი

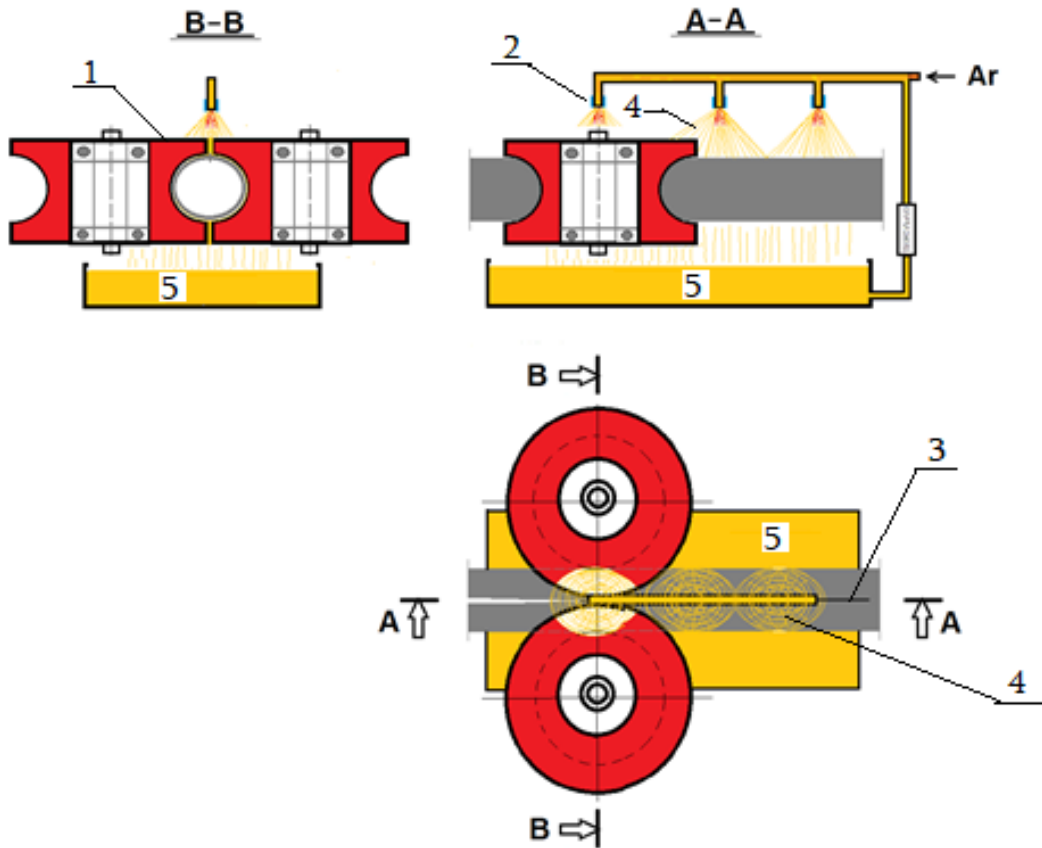


სურ. 6 . ზზარის სტრუქტურა 400 ჯერ გადიდებით

შედულების პროცესში ატმოსფერული ჰაერის ზემოქმედების შესამცირებლად ჩვენს მიერ შემუშავებულია ინერტული აირისა და ემულსიის ნარევის სპრეერის(მფრქვევანა) საშუალებით ნადულის დაცვის მეთოდი.

ტექნოლოგიის არსი მდგომარეობს შემდეგში: ჩვეულებრივი ტექნოლოგიით შესადულებელი მილის ორი კიდე ინდუქციური დენით წინასწარ ცხელდება და განიცდის შელღობას. როგორც აღინიშნა, უქანგავი ფოლადების წარმოებისას შედულების პროცესი დახურული კამერის პირობებში ინერტული აირის-არგონის არეალში მიმდინარეობს, რაც უზრუნველყოფს ატმოსფერული ჰაერისაგან ნადულის დაცვას. ჩვენს შემთხვევაში იგივე ეფექტის მისაღწევად ვიყენებთ დგანის გაციების სისტემაში გამოყენებულ 5%-იან ზეთის ემულსიას,

რომლის გაფრქვევასაც ინერტული აირის სპრეერის საშუალებით ვახორციელებთ.



ნახ. 12. ფოლადის მიღების წარმოებისას ნაკერის არგონით დაცვა

1. შედუღების სისტემის დამჭერი გლინები;
2. სპრეერი;
3. მილის ნაკერი;
4. ინერტული აირისა და ემულსიის ღრუბელი;
5. გაციების სისტემის ემულსია.

მფრქვევანა - მოწყობილობაა, რომელიც ინერტული აირის ან კომპრესორული ჰაერის წნევის ენერგიით სითხის გაფრქვევას უზრუნველყოფს. გაფრქვევის პროცესს ორი შემადგენელი აქვს:

სითხის გაყოფა წვეთებად და ამ წვეთების საჭირო ზედაპირისაკენ მიმართვა. პროცესის ორივე ფაზა ხორციელდება სხვადასხვა ტიპის და კონსტრუქციის მფრქვევანების საშუალებით [92].

სხვადასხვა დარგის ტექნოლოგიების მოთხოვნებმა გამოიწვია გაფრქვევის

მეთოდების განვითარება და მფრქვევანების სპექტრის გაფართოვება. ძირითადი საექსპლოატაციო მახასიათებლები მფრქვევანის სამუშაო ხარისხისა ითვლება:

- სითხის მოცულობა, რომელიც წნევით მიეწოდება მფრქვევანას;
- გაფრქვეული სითხის გაშლის კუთხე;
- მფრქვევანის გამტარუნარიანობა, რომელიც წარმოადგენს გასაფრქვევი სითხის ენერგიის შეფარდებას მის მიერ მოხმარებულ ენერგიასთან;
- ობიექტზე განაწილებული ჭავლის ერთგვაროვნება;
- გასაფრქვევი სითხის განაწილება წვეთების ზომების მიხედვით.

გაფრქვევის მეთოდика:

- კონუსური გაფრქვევის დროს სითხე სივრცეში ნაწილდება კონუსის სახით;



ნახ. 13. კონუსური გაფრქვევა

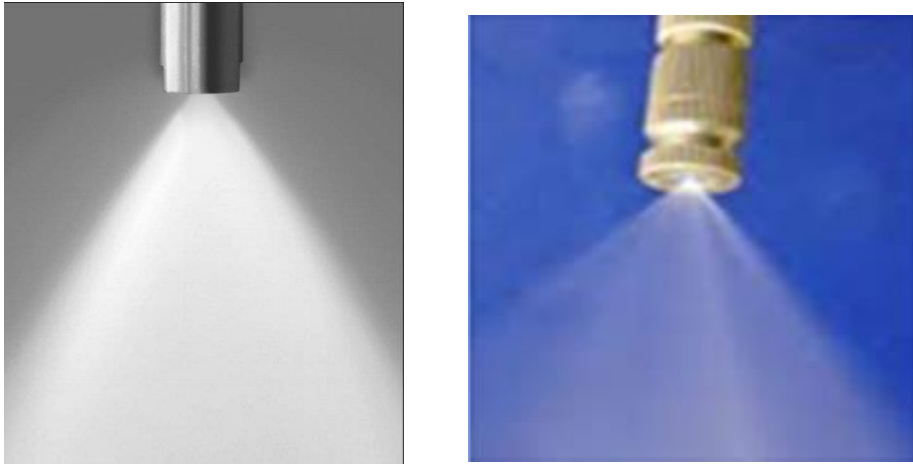
- ბრტყელი ჭავლით გაფრქვევის დროს, სითხის წვეთები ბრტყელი ფორმის სხვადასხვა ზომის ფენის სახით გაიფრქვევა.



ნახ. 14. ბრტყელი გაფრქვევა

ჩვენ ვიყენებთ კონუსური ჭავლის მფრქვევენას, რომელიც ინერტული აირის არგონის საშუალებით ქმნის წყლიანი ემულსიის ღრუბელს, რაც წარმოების პროცესში შედუღების არეალის დაცვის საშუალებას იძლევა. იმისათვის, რომ ვუზრუნველვყოთ შედუღების ტექნოლოგიისათვის საჭირო ტემპერატურა, სპეციალური მგრძნობიარე დეტექტორების მონაცემებზე დაყრდნობით ხდება არგონის საჭირო ტემპერატურით მიწოდება.

შერჩეული იქნა ორი ტიპის კონუსური გაფრქვევის სპრეერი, აწყობილია ჰიდრავლიკური სქემა.



სურ. 7. №1 და №2 ტიპის სპრეერები წყლიანი ემულსიის გასაფრქვევად

ემულსიანი წყლის გასაფრქვევად დამზადებული იქნა მოდული, რომელიც შედგება ტუმბოს, ემულსიის გამწმენდი ფილტრისა და წნევის რეგულატორისაგან. ჩავატარეთ გაფრქვევისათვის საჭირო წნევის დასადგენი ცდები [93-95].

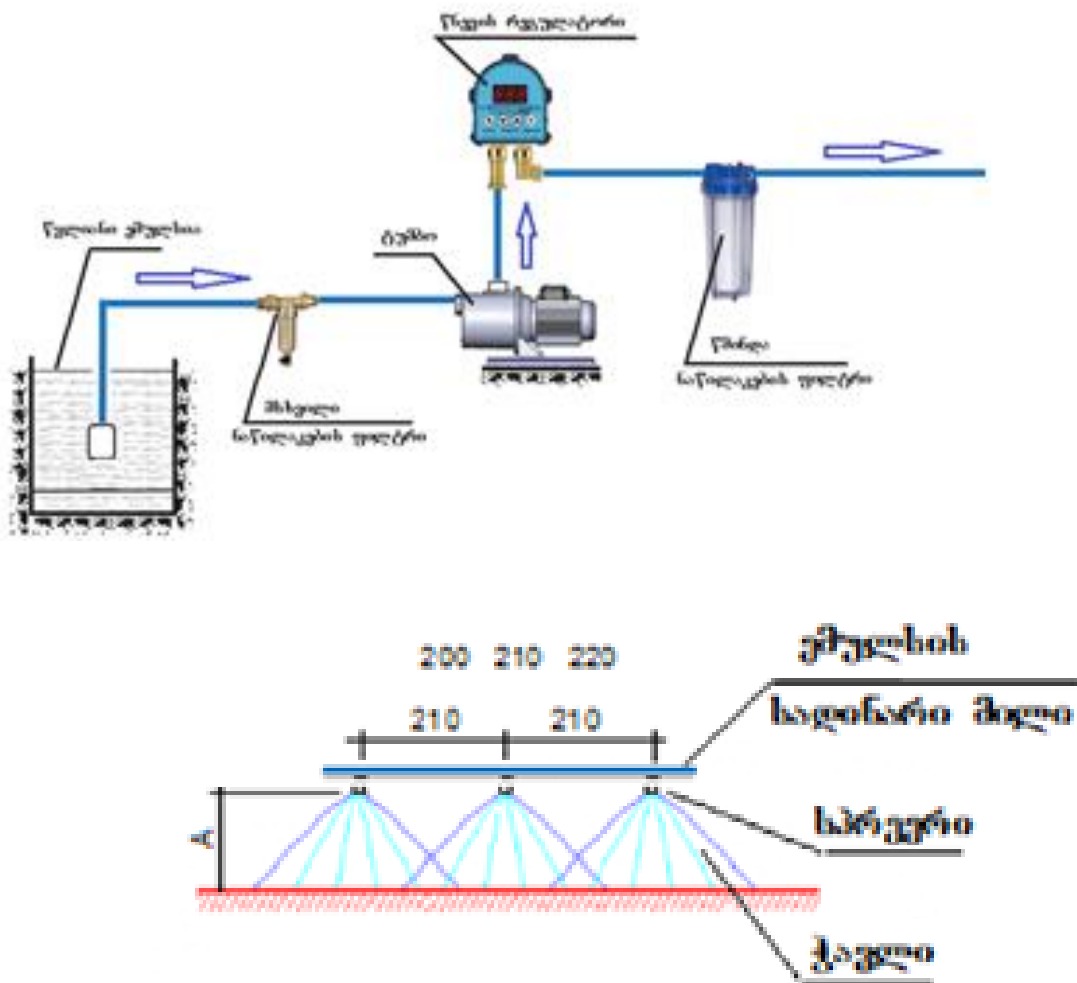
ჩვენს მიერ შემუშავებული მოდული მიერთებულია გამაციებელი სისტემის მილგაყვანილობასთან, საიდანაც ხდება ემულსიის მოწოდება.

რეგულატორის საშუალებით ხდება სხვადასხვა წნევით ინერტული აირის სპრეერებზე მიწოდება ემულსიის გასაფრქვევად.

სპრეერებმა აჩვენეს გაფრქვევის სხვადასხვა ეფექტი სხვადასხვა წნევაზე.

ცხრილი 11. №1 ტიპის სპრეერით გაფრქვევა

ცდა	ინერტ აირის წნევა, ატმ	გაფრქვევის ეფექტი
1	1,0	არ მოხდა გაფრქვევა
2	1,5	არ მოხდა გაფრქვევა
3	2,0	არადამაკმაყოფილებელი
4	3,0	სუსტი ჭავლი
5	3,5	უხეში ჭავლი
6	4,0	შეიქმნა ღრუბელის ფექტი



ნახ. 15. ნაკერის დაცვის მოწყობილობის ტექნოლოგიური სქემა

ცხრილი 12. №2 ტიპის სპრეერით გაფრქვევა

ცდა	ინერტ აირის წნვა, ატმ	გაფრქვევის ეფექტი
1	1,0	არ მოხდა გაფრქვევა
2	1,5	არადამაკმაყოფილებელი
3	2,0	სუსტი ჭავლი
4	3,0	უხეში ჭავლი
5	3,5	შეიქმნა ღრუბელის ეფექტი

შევარჩიეთ №2 ტიპის სპრეერი, რომელიც შედარებით დაბალ წნევაზე 3,5 ატმოსფეროზე გვაძლევს ღრუბელის ეფექტს [96].

ჩვენს მიერ შემუშავებულმა მილების წარმოების პროცესში ნაკერის ინერტული აირით დაცვის ტექნოლოგიამ გვაჩვენა, რომ:

1. 3,5 ატმ წნევის პირობებში სპრეერებით არგონის საშუალებით გაფრქვეულმა ემულსიამ შექმნა ღრუბელი, რომელიც მილის შედუღების არეალს იცვას ატმოსფერული ჰაერის ზემოქმედებისაგან;

2. გაფრქვეული ღრუბელი ინერტული აირის ტემპერატურის შერჩევის სასუალებით უზრუნველყოფს მილის ნაკერის გაციებას საჭირო ტემპერატურის დიაპაზონში, რომელიც გამორიცხავს წყალბადით გამოწვეულ ბზარებს;

3. უქანგავი ფოლადის მილების წარმოებაში არსებული კონსტრუქციის დახურული კამერა მოუხერხებელია გლინების რეგულირებისა და ტექნოლოგიური პროცესზე მართვისათვის, მაშინ როდესაც ჩვენს მოდულში ღია კონსტრუქციისაა ადვილია მისი მომსახურება და მისი დისტანციაზე მართვა.

5. თხევადი ფოლადიდან მიღების წარმოებამდე გამჭოლი ტექნოლოგიის შემუშავება

წარმოების ტრადიციული ტექნოლოგიური ხაზი სრული ციკლის მეტალურგიული კომბინატებში საბოლოო პროდუქციის მიღებისა წარმოადგენს ტექნოლოგიური ოპერაციების თანმიმდევრობის ჯაჭვს: რკინის მადნებიდან აგლომარატის მიღება, თუჯის წარმოება, ფოლადის გამოდნობა და ჩამოსხმა, ცხლადგლინული პროდუქციის წარმოება. მიღებულია, რომ ამ ტექნოლოგიურ ჯაჭვში მთავარი ტემპერატურული ფაქტორია [97].

ბრძმედის ლუმელში მიღებული თხევადი თუჯის ტემპერატურა გამოიყენება ფოლადის წარმოების(მარტენი, კონვერტორი და ელ. რკალური ლუმელი) პროცესში და უწყვეტი ჩამოსხმის დანადგარზე ფოლადის ჩამოსხმისას. ამასთან ამ სტადიაში ლითონი რჩება გამდნარ მდგომარეობაში. ჩამოსხმის შემდეგ, ლითონი მყარია, მაგრამ რჩება ცხელი. საბოლოოდ ნამზადი ან მაშინვე გადაეცემა საგლინავ დგანს, ანდა გაივლის გახურების სტადიას შემდგომი გლინვისათვის. აქ ტემპერატურული ჯაჭვი წყდება. ნაგლინი შემდგომ გაივლის ან ცივად დამუშავებას, ანდა სხვა სახის წნევით დამუშავებას.

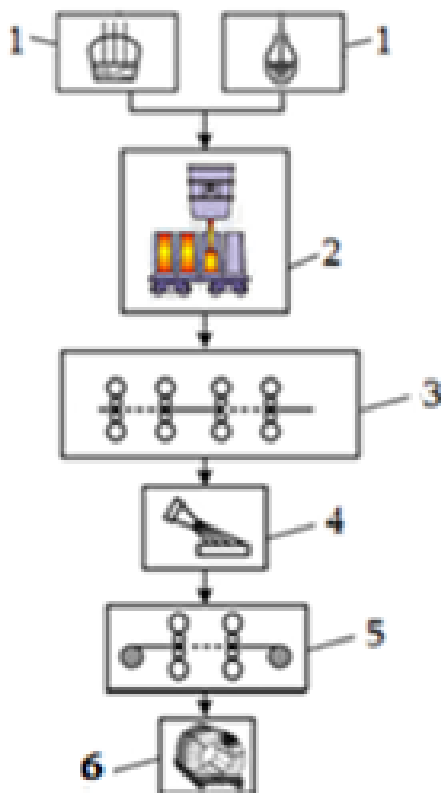
ზემოთაღნიშნულის გათვალისწინებით, თანამედროვე მეტალურ- გიული წარმოების დაგეგმვისას უმნიშვნელოვანესი საკითხია წარმოების პროცესში ლითონის მაღალი ტემპერატურის შენარჩუნება და სითბოს მაქსიმალური გამოყენება, ანუ ისეთი ტექნოლოგიური სქემით, რომელიც საშუალებას მოგვცემს შემდგომი გადამუშავება შეუთავსდეს ლითონის ტემპერატურის მინიმალური დანაკარგებით მომუშავე პროცესს.

დღევანდელი ტექნოლოგიები საშუალებას იძლევიან ტრადიციულთან შედარებით მომავლის მეტალურგიული სწარმოს პროექტირებისას მივიღოთ 21 საუკუნის შესაფერისი შედეგები [98, 99]:

- საწარმოსათვის საჭირო ფართების და საწარმოო ციკლის შემცირება;
- ენერგოდანახარჯების, ნედლეულისა და სხვა მასალების დაბალი დონე;
- წარმოების ავტომატურ-პროგრამული მართვა და ეკოლოგიურად გაუმჯობესებული გარემო.

დღევანდელი მსოფლიო პრაქტიკით, ფოლადის ნაკერიანი მილების წარმოება ორ ეტაპად ხორციელდება:

პირველი ეტაპი: ფოლადის გამოდნობა, უწყვეტი ჩამოსხმის დანადგარზე ან საგლინავ საამქროში გლინვით სლიაბის მიღება და ფურცელსაგლინავ საამქროში ფურცლის წარმოება.



ნახ. 16. ფოლადის ფურცლის წარმოების ტრადიციული სქემა

1. ფოლადის დნობა და ლუმელსგარეთ დამუშავება;
2. ფოლადის ბოყვებში ჩამოსხმა;
3. სხმულიდან სლიაბის ცხლად გლინვა;
4. სლიაბის ცეცხლით გაწმენდა;
5. სლიაბიდან ფურცელის გლინვა;
6. ფურცელის როლონებად დახვევა.

მეორე ეტაპი: მილების მწარმოებელ ქარხნებში ფოლადის ფურც-ლისაგან შედუღების ტექნოლოგიით მრგვალი და პროფილური მილების წარმოება.

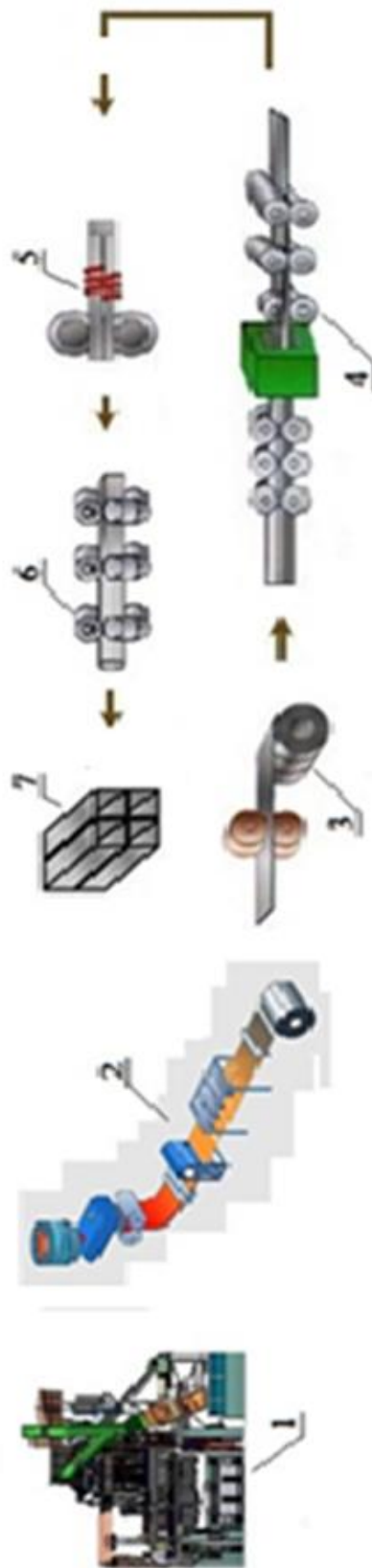


ნახ. 17. ნაკერიანი მოლების წარმოების ტექნოლოგიური სქემა

1. რულონის გრძივად დაჭრა;
2. მილის პროფილის მიღება;
3. მაღალი სიხშირის დენით შედუღება;
4. მილების დაკალიბრება;
5. მილების ზომებად დაჭრა და შეფუთვა.

ორივე ეტაპი წარმოადგენს დამოუკიდებელ ტექნოლოგიურ საწარმოო პროცესს. თანამედროვე ფოლადის ფურცლის მწარმოებელი ქარხნები სრული ციკლით მომუშავე კომბინატებია, რომლებიც განლაგებული არიან რკინის მადნის საბადოებთან, ხოლო მილების მწარმოებლები მილების მომხმარებელ რეგიონებში (ნავთობის და ბუნებრივი აირის მოპოვების რეგიონებთან და მსხვილ სამრეწველო ცენტრებთან), რაც მათი რეალიზაციის პროცესში ლოგისტიკურ სირთულეს წარმოადგენს. ფურცლის მწარმოებლები მილებს თვითონ არ აწარმოებენ, რადგანაც მაღალი წარმადობიდან გამომდინარე მათთვის ფურცლის რეალიზაცია უფრო მოსახერხებელია [100, 101].

ჩვენს მიერ შემუშავებული იქნა ტექნოლოგიური სქემა, რომელიც ითვალისწინებს ზემოთაღნიშნული ორი ეტაპის ერთი მეტალურგიული კომპლექსის ფარგლებში ფოლადის გამოდნობის, ფურცლის ჩამოსხმისა და მილების წარმოების ტექნოლოგიური პროცესების ერთ საწარმოო სივრცეში გაერთიანებას.



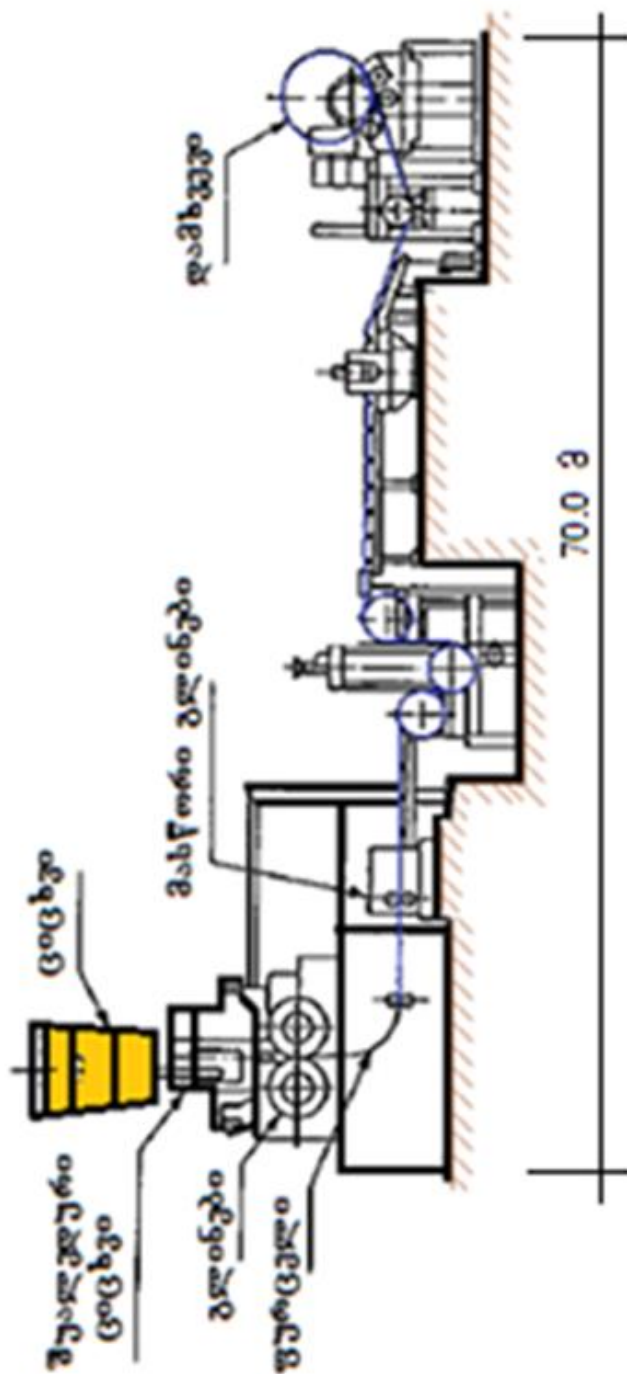
ნახ. 18. თხევადი ფოლადიდან მილების წარმოების ტექნოლოგიის სქემა

ფოლადის ელექტრორკალურ ღუმელში დნობისა და ღუმელსგარეთ დამუშავების შემდეგ ციცხვი გადაეცემა უწყვეტი ჩამოსხმის ორგლიდან

დანადგარს სადაც მიიღება 1.0-დან 6.0მმ-მდე სისქის ფოლადის ფურცელი დახვეული რულონებში. შემდგომ რულონები თვითმავალი ურიკის საშუალებით გადაეცემა მილების წარმოების უბანს, კერძოდ ფურცლის გრძივად დაჭრის განყოფილებას. ხვებში შტრიფსებად გრძივად დაჭრილი ფურცელი მიემართება მილის დიამეტრის მაპროფილებელი დგანისაკენ, რის შემდეგაც მაღალი სიხშირის დენით შედუღებისა და მაკალიბრებელ დგანში საჭირო დიამეტრის მილების შემდეგ ზომებად იჭრება და იკვრება[102, 103].

მოცემული ტექნოლოგიური სქემა კარდინალურად ცვლის მილების წარმოების პროცესს:

1. ფოლადის ფურცლიდან მილების წარმოებამდე მთელი ტექნოლოგიური ციკლი ერთ სივრცეშია განთავსებული. ერთი განყოფილებიდან მეორეს ლითონი გადაეცემა თვითმავალი ავტომატური მექანიზმებით, რომლებიც გამორიცხავენ შრომისა და დროის უქმე დანაკარგებს.
2. ფურცლის წარმოების ტრადიციული ტექნოლოგიის პირობებში ფურცელსაგლინავი საამქროს სიგრძე 1000 – 1500 მეტრია. ჩვენ მინიმეტალურგიულ კომპლექსის ტექნოლოგიურ სქემაში ვიყენებთ ახალ ფურცლის ორგლინიან ჩამოსხმის ინოვაციურ “Castripe” ტექნოლოგიას, რომელშიც ფოლადის ფურცლის უწყვეტი ჩამოსასხმია და ფურცლის მილების პროცესი 70.0 მეტრის სიგრძის შენობაში ეტევა[104-109].



ნახ. 19. ფოლადის ფურცლის უწყვეტი ჩამოსხმის CastStripe აგრეგატის ტექნოლოგიის სქემა.

3. ტექნოლოგიური სქემა და დანადგარების კომპაქტურობა საშუალებას იძლევა მისი განთავსებისა მიტოვებული ქარხნების ინფრასტრუქტურის ადგილზე;
4. ფოლადის ფურცლის წარმოების ტრადიციულ ტექნოლოგიურ სქემასთან შედარებით ჩვენს მიერ შემუშავებული სქემის პირობებში მცირდება ოპერაციების რაოდენობა.

5. ტექნოლოგიურ სქემაში რეალიზებულია გამჭოლი ტექნოლოგიების და თანამედროვე აგრეგატების ის შესაძლებლობები, რომლებიც უზრუნველყოფენ მაღალ ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებს, ტრადიციული ტექნოლოგიით მიღებულ პროდუქციასთან შედარებით, კერძოდ:

- ფოლადის გამოდნობიდან მზა მილების მიღებამდე შეკვეთების უმოკლესდროში, 5-6 საათში შესრულება;
- ტექნოლოგიური პროცესების შემცირების ხარჯზე პროდუქციის თვითღირებულების შემცირება;
- მიღწეული იქნა ბუნების დაცვის სტანდარტების მაღალი დონე;

ზემოთჩამოთვლილი ფაქტორები მეტყველებს შემუშავებული ტექნოლოგიური სქემის ტექნიკურ-ეკონომიკურ ეფექტურობაზე და, როგორც ჩვენს ქვეყანაში, ასევე სხვა რეგიონებში, საწარმოო ინფრასტრუქტურის გამოყენების პერსპექტივებზე. ასეთი კომპლექსების განთავსება აქტუალურია გაჩერებული საწარმოების ინფრასტრუქტურის ადგილზე, რეგიონებში, სადაც მოთხოვნაა ფოლადის ფურცელზე და მილებზე.

6. მინი-მეტალურგიული კომპლექსის ტექნოლოგიური პროექტირება

მეტალურგიული კომპლექსის მშენებლობის დაგეგმვის საწყის ეტაპზე მთავარი მოცემულობაა რა დანიშნულების, სტანდარტის, ტექნოლოგიისა და რაოდენობის პროდუქციის წარმოებას გეგმავს, ესა თუ ის დამკვეთი კომპანია. აქედან გამომდინარე ხდება საწარმოო აგრეგატების ტექნიკურ-ტექნოლოგიური პროექტირება [110, 111].

ამ სადოქტორო სამუშაოში სადოქტორო სამუშაოში განვიხილავთ მეტალურგიულ კომპლექსს, რომლის წარმადობაც შეადგენდეს 300 000 ტონა ნახშირბადიანი ფოლადის ფურცელს წელიწადში სისქით 1,5-6,0მმ.

ზემოთაღნიშნული წარმადობიდან 160 000ტ ფურცელი მილების წარმოებას გადაეცემა, დანარჩენი 140 000ტ რეალიზაცია მოხდება საქართველოს გარდა სომხეთში, აზერბაიჯანში, რუსეთსა და შავი ზღვის აუზის ქვეყნებში.

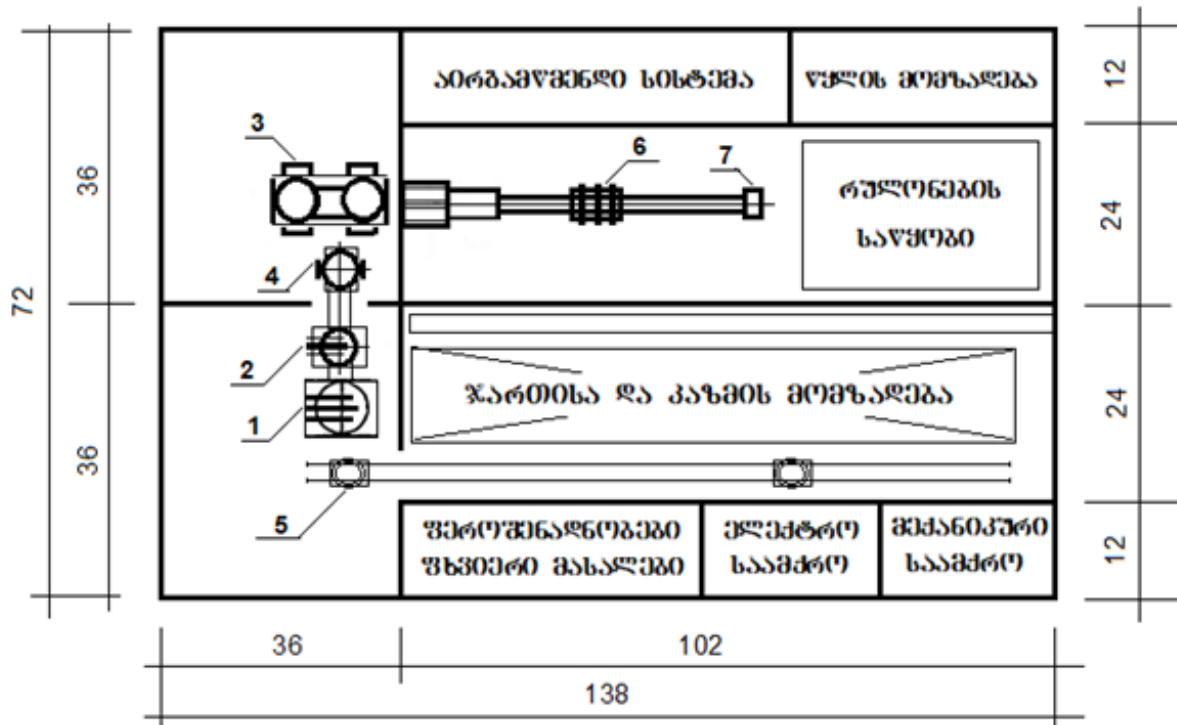
საწარმოებელი მილების სპეციფიკაციაა: 20 მმ-დან 168 მმ-მდე დიაპაზონში ყველა სტანდარტული დიამეტრის მრგვალი მილები კედლის სისქით 1.0 მმდან 6.0მმ-მდე.

ამას გარდა, მილსაგლინავი წარმოება გამოუშვებს კვადრატულ და სწორკუთხა მილებს: 20x20მმ დან 100x50მმ დიაპაზონში ყველა სტანდარტული ზომის მილებს კედლის სისქით 1.0-6.0მმ.

ფოლადსადნობ საამქროში ჩამოსხმული ფოლადის ფურცელი რულონების სახით პირდაპირ მიეწოდება მილსაგლინავ წარმოებას [112-114].

ჩვენს შემთხვევაში, გამომდინარე მინი-კომპლექსის დანიშნულებისა, ფოლადსადნობი საამქრო შედგება:

1. ფოლადსადნობი ღუმელისაგან: Primetals Technologies მიერ წარმოებული შახტური ტიპის აგრეგატი Quantum-ი .
2. ფოლადის ღუმელგარეშე დამუშავების ციხვ-ღუმელი;
3. ფოლადის თხელი ფურცლის მისაღები Castrip® Technology უწყვეტი ჩამოსხმის დანადგარი.



ნახ. 20. ელექტროფოლადსადნობი საამქროს ტექნოლოგიური სქემა

1. ელექტრორკალური ღუმელი;
2. ღუმელ-ციცხვი;
3. ფურცელის საჩამოსხმო დანადგარი;
4. ურიკა ციციხვით;
5. ურიკა კაზმით;
6. მასწორი მანქანა;
7. რულონის დამხვევი.

2.1.1. ელექტრორკალური ღუმელის ტექნოლოგიური პარამეტრების ანგარიში

ზემოთაღნიშნული წარმადობის უზრუნველსაყოფად და თხევადი ფოლადის მისაღებად ვირჩევთ 50 ტონა ტევადობის ელექტრორკალურ ღუმელს. ეს ტევადობა საჭიროა 25.0 ტონა წონის ჯერადი ორი რულონი ფოლადის ფურცელის მისაღებად. 50 ტონიანი ნადნობის მისაღებად საანგარიშოა ამ მოცულობის ღუმელისათვის საჭირო ძალოვანი ტრანსფორმატორი.

ელექტრორკალური ღუმელის ძალოვანი ტრანსფორმატორის სიმძლავრის გათვლა შეიძლება ფორმულით [115-117]:

$$T_{ტრ. სიმძლავრე} = \frac{G \times Q}{\cos \phi \times K \times T} = \frac{50 \times 350}{0,7 \times 0,8 \times 0,7} = \frac{17\,500}{0,39} = 44,9 \text{ მვა}$$

სადაც: G – ღუმელის ტევადობაა;

Q – ელ. ენერგიის ხარჯი დნობის პროცესში კვტ,სთ/ტ;

COS φ - ღუმელის სიმძლავრის საშუალო კოეფიციენტი;

K – ტრანსფორმატორის სიმძლავრის გამოყენების კოეფიციენტი;

T - ღუმელში დნობის ხანგრძლივობა, სთ.

გათვლებით ტრანსფორმატორის სიმძლავრე მივიღეთ - 45,0 მვა., რომელიც უზრუნველყოფს 50 ტონა ფოლადის ნადნობის 0,7 სთ ანუ 50 წთ. დნობის ხანგრძლივობას[20].

უნდა განისაზღვროს ტრანსფორმატორის მეორადი ძაბვის საფეხურები.

მართვის ოპტიმალურობისათვის გვჭირდება საფეხურების რაოდენობა $n=15$

საფეხურებს შორის ძაბვის სხვაობას ვითვლით:

$$\Delta U = \frac{U_2 - U_1}{\pi \cdot \Delta i} = \frac{680 - 170}{15} = 34,0 \text{ ვ}$$

სადაც 680ვ და 170ვ ძაბვის მაღალი და დაბალი მაჩვენებლებია;

ტრანსფორმატორის სიმძლავრის დადგენის შემდეგ საჭიროა ღუმელის ელექტროდების დიამეტრის განსაზღვრა, რომელიც გამოითვლება

ფორმულით:
$$\sqrt{\frac{4 \cdot I_{ნომ}}{\pi \cdot \Delta i}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 69\,204,2}{3,14 \cdot 26,0}} = 58,2 \text{ სმ}$$

58,2 სმ-ი შეესაბამება სტანდარტულ ელექტროდს დიამეტრით 610 მმ.

ზემოთმოყვანილი ფორმულიდან:

Δi - დენის დასაშვები სიმკვრივეა 26A/სმ²;

დენის ძალის ნომინალური მაჩვენებელი

$$I_{ნომ} = \frac{S}{U_2 \cdot \sqrt{3}} 10^6 = \frac{80}{680 \sqrt{3}} 10^6 = 69\,204,2 \text{ ამპერი}$$

საამქროს წარმადობის დასადგენად საჭიროა ღუმელის წლიური სამუშაო დროის ფონდის დადგენა[118].

ღუმელის წლიური სამუშაო დროის ფონდი:

$$T_{წომ}^{საანგ} = T_{კაკ} - (T_{რემ}^{გემ} + T_{რემ}^{კაკ}) = 365 - (18 + 7) = 340 \text{ დღე - ღამე}$$

გეგმიური შეკეთების ხანგრძლივობა წლის მანძილზე საწარმოების პრაქტიკული მონაცემებით შეადგენს 18 დღე-ღამეს;

კაპიტალური შეკეთებების ხანგრძლივობა - 24 საათია;

მაღალხარისხიანი ცეცხლგამძლე მასალებით ღუმელის დაკომპლექტების შემთხვევაში ამონაგის მედეგობა უნდა შეადგენდეს მინიმუმ - 890 ნადნობს;

კაპიტალური შეკეთების რაოდენობა ელ.ღუმელისათვის გამოითვლება ფორმულით: $T_{რემ}^{კაპ} = \frac{T_{კალ}}{N_{ამონ} \cdot \frac{T_{დნ}}{60}} \cdot T_{რემ}^{ამონ}$

სადაც: $N_{ამონ}$ – ამონაგის მედეგობაა, დნობებში;

$T_{რემ}^{ამონ}$ – კაპიტალური შეკეთების ხანგრძლივობა;

$T_{დნ}$ – დნობის ხანგრძლივობა;

$T_{კალ}$ – კალენდარული დღეებია წელიწადში.

$$T_{რემ}^{ამონ} = \frac{365}{890 \cdot \frac{47}{60}} 12 = 7 \text{ დღე-ღამე}$$

ღუმელის კაპიტალურ შეკეთებებს შორის კამპანიის ხანგრძლივობა:

$N_{კამპ} = \frac{T_{ნომ}}{T_{კამ}}$ სადაც, $T_{კამ}$ ღუმელის კამპანიის ხანგრძლივობაა, დღე-ღამეებში.

$$T_{კამ} = \frac{N_{ამონ} \cdot T_{დნ}}{843} = \frac{890 \cdot 47}{843} = 49,6 \text{ დღე-ღამეს}$$

$$N_{კამპ} = \frac{340}{29} = 11,7 \text{ კამპანია}$$

ელექტროფოლადსადნობი ღუმელის ცხელი გაჩერებების წლიური მაჩვენებელია:

$$T_{წგ} = 1,6\% T_{ნომ} = \frac{340 \cdot 1,6}{100} = 5,4 \text{ დღე - ღამე}$$

ხოლო ღუმელის ფაქტიური სამუშაო ფონდი:

$$T_{ფაქტ} = T_{ნომ} - T_{წგ} = 340 - 5,4 = 334,6 \text{ დღე - ღამე}$$

დნობების რაოდენობა წლის განმავლობაში:

$$N_{დნ} = \frac{T_{ფაქტ} \cdot 1440}{T_{დნ}} = \frac{334,6 \cdot 843,8}{47} = 6\ 007 \text{ დნობა}$$

ზემოთმოყვანილი გათვლებიდან გამომდინარე ღუმელის დაზუსტებული წარმადობა შეადგენს:

$$6007 \text{ დნობა} \times 50\text{ტ} = 300\ 356,9 \text{ ტონა ფოლადს წელიწადში.}$$

ღუმელ-ციციხვში ფოლადის გახურება მიმდინარეობს ორ სტადიად: დასაწყისში ხდება ციციხვის, ამონაგის ზედაპირული ფენების, თაღის,

ელექტროდების ტემპერატურების გათანაბრება, ამავე დროს ხდება წიდაწარმომქმნელების და ფეროშენადნობების გადნობა და ფოლადის ტემპერატურის გათანაბრება. მეორე სტადიაში ხდება უკვე ფოლადის საჭირო ტემპერატურამდე გახურება [119].

ღუმელ-ციციხვის ტრანსფორმატორის სიმძლავრე, რომელიც საჭიროა ფოლადისა და დანამატების გახურებისათვისათვის განისაზღვრება ფორმულით:

$$P = \eta \cdot H \cdot M \cdot V \cdot 60. \text{ მვტ} = 0,6 \times 55 \times 2.0^{\circ}\text{C}/\text{წთ} \times 60 = 3,960 \text{ მვტ}$$

სადაც: η - რკალის თბური მ.ე. კოეფიციენტი, ექსპერიმენტული მონაცემებით - 0,6;

H - ენერგიის ხვედრითი ხარჯია 1°C ტემპერატურით $1550-1650^{\circ}\text{C}$ კვტ.ტ/სთ დიაპაზონში ფოლადისა და დანამატების გასახურებლად. დანამატებიანად ნადნობის მასა $50+10\%=55\text{ტ}$:

M - ლითონისა და დანამატების ჯამური მასაა დანამატებიანად ნადნობის მასა $50+10\%=55\text{ტ}$:

V - ლითონის გახურების სიჩქარეა $^{\circ}\text{C}/\text{წთ}$;

ღუმელ-ციციხვის ტრანსფორმატორის სიმძლავრეს მონაცემების საფუძველზე ვირჩევთ 4,5 მვტ-ს.

მიღების წარმოების სამუშაო დროის ფონდი და აგრეგატების მუშაობის რეჟიმი ძირითადი აგრეგატების და ტექნოლოგიის შესამუშავებლად საჭი- როა კვირის განმავლობაში მუშაობის ხანგრძლივობის და სამუშაო გრაფიკის განსაზღვრა წყვეტილი და უწყვეტი რეჟიმის პირობების გათვალისწინებით. უწყვეტი გრაფიკი ოთხბრიგადიანია, ხოლო წყვეტილი სამბრიგადიანი.

ჩვენი მეტალურგიული კომპლექსის შექმნისათვის ვახდენთ საწარმოს მუშაობის ნომინალური დროის გათვლას:

გავითვალისწინოთ სამუშაო ფონდის 10%-ი. საბოლოოდ წლიურ სამუშაო ფონდს მოაკლდება 814 საათი და გვრჩება 7 322 სთ [120].

მიღების წარმოების საპროექტო სიმძლავრის განსაზღვრა: საამქროს საპროექტო სიმძლავრეს წარმოადგენს საჭირო სორტამენტის მიღების წლიური წარმადობა, ანუ საგლინავი დგანების მწარმოებლობა. მთლიანად ტექნოლოგიურ ხაზში ის აგრეგატი და უბანი, რომელიც ყველაზე დაბალ წარმადობას აჩვენებს ის წარმოადგენს წარმოების პროექტულ სიმძლავრეს და სწორედ ამ უბნის მწარმოებლობით განისაზღვრება.

მილის წარმოების საპროექტო სიმძლავრე ვანგარიშობთ ფორმულით:

$$P = A_{საშ} \times F$$

სადაც: $A_{საშ}$ - აგრეგატის საშუალო საათური წარმადობა, ტ/სთ;

F - წლიური სამუშაო ფონდია, 7 322 სთ;

აგრეგატის საშუალო საათური წარმადობას ვითვლით ფორმულით:

$$A_{საშ} = \frac{v \cdot \mu \cdot k \cdot q}{y} \text{ სთ/ტ};$$

სადაც: $A_{საშ}$ - საშუალო საათური წარმადობა;

მიღების წარმოება დაგეგმილია და იანგარიშება ორი დგანის მუშაობის გათვალისწინებით. უნდა ვაწარმოოთ ჩვენი რეგიონში მოთხოვნადი მილები:

№ 1 დგანით 20მმ -დან 89მმ-მდე;

№ 2 დგანით 95მმ-დან 168მმ-მდე.

№ 1 დგანისათვის საშუალო საათური წარმადობა გათვლებით შეადგენს:

$$A_{საშ} = \frac{v \cdot \mu \cdot k \cdot q}{y} = \frac{40 \cdot 60 \cdot 1,0 \cdot 0,95 \cdot 2,18}{1,01} = 4,92 \text{ ტ/სთ};$$

ხოლო წლიური საპროექტო წარმადობა:

$$P = A_{საშ} \times F = 4,92 \times 7\,322 = 36\,024 \text{ ტ/წელიწადში.}$$

V - დგანებზე მილის შედუღების საშუალო სიჩქარე,

$$40 \text{ მ/წთ} \times 60 = 2\,400 \text{ მ/სთ};$$

μ - გაწელვის კოეფიციენტი, რომელიც ჩვენს შემთხვევაში ტოლია 1, რადგანაც გაწელვა ფაქტიურად არ ხდება;

k - აგრეგატების გამოყენების კოეფიციენტს ვღებულობთ - 0,95.

q - ერთი მეტრი საშუალო დიამეტრის მილის თეორიული მასაა, 2.18 კგ;

y - ლითონის ხარჯვის კოეფიციენტი, რომელიც 1,01-ს შეადგენს.

იგივე გათვლები № 2 დგანისათვის საშუალო საათური წარმადობა შეადგენს:

$$A_{საშ} = \frac{30 \cdot 60 \cdot 1,0 \cdot 0,95 \cdot 9,8}{1,01} = 16,59 \text{ ტ/სთ};$$

ხოლო წლიური წარმადობა:

$$P = A_{საშ} \times F = 16,59 \times 7 \ 322 = 121 \ 472 \text{ ტ/წელი}$$

ამრიგად, ორივე დგანის წლიური წარმადობა განისაზღვრა: $P =$

$$A_{საშ} \times F = 36 \ 024 + 121 \ 472 = 157 \ 496 \text{ ტონით წელიწადში.} \quad 2.2.4.$$

ფოლადის ფურცელის, მასალებისა და ენერგომატარებლების ხარჯების ანგარიში

შედულების ტექნოლოგიით მიღების წარმოებისას ბურბუშელასა და ჩამონაჭრების სახით ნარჩენების რაოდენობა ნორმატივებით 1.0 % - ა.ე.ი. ვარგისი პროდუქცია 96.0%, საიდანაც ლითონის ხარჯვის კოეფიციენტი შეადგენს 1,01%-ს.

2.2.5. ელ ენერგიის ხარჯი

ელ. ენერგიის ხარჯის განსაზღვრა მიღების წარმოებისას შეიძლება გაითვალისწინოს ცალკე მიღების შედულებაზე დახარჯული და დანარჩენი მოწყობილობა-აგრეგატებზე მოსული დანახარჯების ჯამით, რაც საშუალებას მოგვცემს ვიანგარიშოთ 1 ტ პროდუქციაზე დანახარჯების მისაღებად [121].

ელ. ენერგიის ხარჯი მაღალი სიხშირის დენით მიღების წარმოებისას გამოითვლება ფორმულით:

$$W = \frac{P}{A}, \text{ კვტ. სთ/ტ,}$$

სადაც: P - გამოყენებული სიმძლავრეა შედულებისას, კვტ.

$$P = 1,6 \cdot v \cdot S \cdot P_0 \text{ კვტ/ტ} = 1,6 \cdot 50 \cdot 3,0 \cdot 800 = 192,0$$

სადაც: v - მილის შედულების სიჩქრეა, (საშუალოდ 50 მ/წთ) მ/წთ;

S - მილის კედლის სისქე, (საშუალო 3.0)მმ;

P_0 - სიმძლავრე მილის შედულებისას, ჩვენს შემთხვევაში 800 კვტ. სთ/ტ,

1,6 - სიმძლავრის კოეფიციენტი.

A – მილების მწარმოებელი დგანების საშუალო წარმადობა (საშუალოდ 50 მ/წთ) 18.0 ტ/სთ-ში;

$$W = 192,0 / 18,0 \text{ კ} = 10,7 \text{ კვტ. სთ/ტ}$$

ელ. ენერჯის წლიური საორიენტაციო ხარჯი გამოითვლება ფორმულით:

$$W = \frac{N \cdot F \cdot K1 \cdot K2}{K3 \cdot K4} = 800 \cdot 7322 \cdot 0,3 \cdot 0,75 / 0,88 \cdot 0,96 = 1,647,450 \text{ კვტ. სთ/ტ}$$

სადაც: N - აგრეგატების ჯამური დადგმული სიმძლავრე, კილოვატია.

F - წლიური სამუშაო ფონდია, 7322 სთ.;

K1 - ელექტროძრავების გამოყენების კოეფიციენტი 0,2-0,4;

K2 - ელექტროაგრეგატების გამოყენების კოეფიციენტი - 0,75;

K3 - ძრავების მარგი ქმედების კოეფიციენტი - 0,88;

K4 - მუშაობის პროცესში ქსელის დანაკარგების კოეფიციენტი - 0.96.

2.2.6. საცხებ-საპოხი მასალების, გლინებისა და ინსტრუმენტის ხარჯი

საცხებ-საპოხი მასალების ხარჯი შედუღების ტექნოლოგიით მილის წარმოების პრაქტიკიდან და დგანების კონსტრუქციიდან გამომდინარე მერყეობს 0,05÷0,35 კგ/ტ ფარგლებში. ჩვენს შემთხვევაში ხარჯის მაჩვენებელს ვღებულობთ 0,3 კგ/ტ.

პროექტის ეკონომიკური მხარე საქართველოში ფოლადის ფურცლისა და სწორნაკერიანი მილების წარმოების შექმნისა ერთი მეტალურგიული კომპლექსის პირობებში, ყოველმხრივ აქტუალური საკითხია.

წარმოება უნდა მოიცავდეს:

- ა) თხევადი ფოლადის მწარმოებელ ელექტროფოლადსადნობ საამქროს, უშუალოდ საამქროს პირობებში თხელი სისქის ფურცელის ჩამოსხმით;
- ბ) ფოლადსადნობი საამქროს გაგრძელებაზე სწორნაკერიანი მილების მწარმოებელ საამქროს.

კომპლექსი საბოლოო პროდუქციის სახით გაყიდის, როგორც სწორნაკერიან მილებს, ისე ფოლადის ფურცელს.

პროდუქციის სპეციფიკაცია:

- EN10029 სტანდარტის ფოლადის 1.0-6.0 მმ სისქის ფურცელი რულონებში;
- ფოლადის მრგვალი ფორმის 20.0 მმ-დან 219.0 მმ-მდე დიამეტრის ფოლადის მილები EN 10219 სტანდარტით;

- ფოლადის 20x20 მმ-დან 100x200 მმ-მდე ზომების დიაპაზონიში პროფილური სწორნაკერიანი მილები EN 10219 სტანდარტით.

ორივე პროდუქტის: ფურცელისა და მილების ბაზარი, როგორც საქათველოში ისე ამიერკავკასიის დანარჩენ ქვეყნებში, გაჯერებულია რუსეთიდან, უკრაინიდან და თურქეთიდან შემოტანილი სხვადასხვა დანიშნულების ამ პროდუქციით. ლოგისტიკური და მარკეტინგული კვლევები აჩვენებს, რომ ჩვენი ქვეყნის ხელსაყრელი გეოგრაფიული მდებარეობა საშუალებას იძლევა კონკურენტუნარიან გარემოში საწარმოს ფუნქციონირების შესაძლებლობას და შავი ზღვის სატრანსპორტო აკვატორიის გამოყენებით წარმატებული ბიზნესის ოპერირებას. ჩვენს მიერ, საწარმოს სიმძლავრე განისაზღვრა 300 000 ტონით წელიწადში ფოლადის თხელი ფურცელი, აქედან 60 000ტ ფურცელი მილების წარმოებას გადაეცემა, დანარჩენი 240 000ტ რეალიზაცია მოხდება საქართველოს გარდა სომხეთში, აზერბაიჯანში, რუსეთსა და შავი ზღვის აუზის ქვეყნებში. ფოლადის რულონების სიგანე განისაზღვრა 1500 მმ.

ჩვენს შემთხვევაში განვიხილოთ მინი მეტალურგიული კომპლექსი წლიური წარმადობით 300 000ტ ფოლადის ფურცელი. ასეთი საწარმოს მშენებლობა შეიძლება განხორციელდეს როგორც ერთ, ასევე ორ სტადიად.

ტექნიკურად შეიძლება ამ ორივე წარმოების ერთ სამშენებლო მოედანზე განთავსება, თუ ამის საშუალებას ყოფილი საწარმოების ინფრასტრუქტურა იძლევა და არ მდებარეობს ქალაქის საცხოვრებელ რაიონში, ან ცალ-ცალკე განთავსება მარკეტინგული მოსაზრებით. მარკეტინგული და ამავე დროს ეკონომიკური მხარეც ამ ვარიანტისა ასეთია:

ფოლადსა და ნიჟარს საამქროს ნედლეულის: ჯართის და ფოლადსა და ნიჟარს ლუმელის კაზმის სხვა ლითონშემცველი მასალების (დაგუნდავებული მადანი, DRI და სხვ.) რესურსი საქართველოში ფაქტიურად არ არსებობს, ამიტომ ფოლადსა და ნიჟარს კომპლექსის განლაგება უპრიანია შავი ზღვის სანაპიროზე.

- ერთის მხრივ, ნედლეულისა და მასალების ზღვით შემოსატანად;
- მეორეს მხრივ, რულონებში ფოლადის ფურცელისა და მილების ექსპორტზე გასატანად, გამომდინარე იქიდან, რომ საქართველოში, და საერთოდ

ამიერკავკასიაში, მთლიანად ამ პროდუქტების მოხმარება შეადგენს დაახლოებით 110 000 ტონას წელიწადში.

რაც შეეხება მშენებლობის წარმართვის თანმიმდევრობას დროში, ეს საკითხი წმინდა ფინანსურია, ინვესტორებისა და კონსოლიდირებული რესურსების რაოდენობიდან გამომდინარე [122].

ჩვენს შემთხვევაში მილსაგლინავი საამქრო მილსაგლინავი დგანით, რულონის გრძივად და განივად დაჭრის ტექნოლოგიური ხაზებით უკვე არსებობს ქ. თბილისში და დღის წესრიგშია ფოლადსადნობი საამქროს აშენება, რომელიც პირდაპირ ფოლადის ფურცელს ჩამოასხავს, ხოლო მისი განთავსება, როგორც ზემოთ აღინიშნა, მიზანშეწონილია შავი ზღვის სანაპიროზე.

ტვირთბრუნვის ოპტიმიზაციის მიზნით აქტუალურია რკინიგზის ტრანსპორტის გამოყენება შემხვედრი მიმართულებით, ერთის მხრივ ნედლეულისა და მასალების ზღვით შემოტანა, ხოლო მზა პროდუქციის ზღვაზე გადაზიდვა(FOB-ზე დატვირთვის პირობით). გარდა დასავლეთის მიმართულებისა მარკეტინგულად პერსპექტიულია აღმოსავლეთის მიმართულებაც. სომხეთსა და აზერბაიჯანში მიღების ექსპორტი უკვე ხორციელდება და ფოლადის ფურცელის წარმოების გაშვების შემდეგ რეალურია სომხეთი, აზერბაიჯანი, რუსეთის საექსპორტო პოტენციალის გამოყენებაც.

საწარმოო პროგრამა მოიცავს: თხევადი ფოლადის მისაღებად 50 ტონა ტევადობის და 45 მვა სიმძლავრის ელექტრორკალური ღუმელის გამოყენებას. დნობის ხანგრძლივობა განისაზღვრა - 50 წუთით.

გეგმიურ შეკეთების ხანგრძლივობა წლის მანძილზე 18 დღე-ღამით;

კაპიტალური შეკეთების ხანგრძლივობა - 24 საათით;

გამოყენებული ცეცხლგამძლე მასალების ხარისხიდან ღუმელის ამონაგის მედეგობა უნდა შეადგენდეს - 890 ნაღობს;

კაპიტალური შეკეთების რაოდენობა ($T_{რემ}^{კაპ}$) ელ.ღუმელისათვის გამოითვლება

ფორმულით:
$$T_{რემ}^{კაპ} = \frac{T_{კალ}}{N_{ამონ} \cdot \frac{T_{დნ}}{60}} \cdot T_{რემ}^{ამონ} [39]$$

სადაც: $N_{ამონ}$ – ამონაგის მედეგობა, დნობებში;

$T_{რემ}^{ამონ}$ – კაპიტალური შეკეთების ხანგრძლივობა;

$T_{დნ}$ – დნობის ხანგრძლივობა;

$T_{კალ}$ – კალენდარული დღეებია წელიწადში.

$$T_{რემ}^{ამონ} = \frac{365}{890 \cdot \frac{47}{60}} 12 = 7 \text{ დღე-ღამე}$$

ღუმელის წლიური სამუშაო დროის ფონდი გამოვა:

$$T_{ნომ}^{საანგ} = T_{კაპ} - (T_{რემ}^{მზმ} + T_{რემ}^{კაპ}) = 365 - (18 + 7) = 340 \text{ დღე - ღამე}$$

ღუმელის კაპიტალურ შეკეთებებს შორის კამპანიის ხანგრძლივობა:

$$N_{კაპ} = \frac{T_{ნომ}}{T_{კაპ}} \quad \text{სადაც, } T_{კაპ} \text{ ღუმელის კამპანიის ხანგრძლივობაა, დღე-ღამეებში.}$$

$$T_{კაპ} = \frac{N_{ამონ} \cdot T_{დნ}}{843} = \frac{890 \cdot 47}{843} = 49,6 \text{ დღე-ღამეს}$$

$$N_{კაპ} = \frac{340}{29} = 11,7 \text{ კამპანია}$$

ელექტროფოლადსადნობიღუმელის ცხელი გაჩერებების წლიური მაჩვენებელია:

$$T_{წ.გ} = 1,6\% T_{ნომ} = \frac{340 \cdot 1,6}{100} = 5,4 \text{ დღე - ღამე}$$

ხოლო ღუმელის ფაქტიური სამუშაო ფონდი:

$$T_{ფაქტ} = T_{ნომ} - T_{წ.გ} = 340 - 5,4 = 334,6 \text{ დღე - ღამე}$$

დნობების რაოდენობა წლის განმავლობაში:

$$N_{დნ} = \frac{T_{ფაქტ} \cdot 1440}{T_{დნ}} = \frac{334,6 \cdot 843,8}{47} = 6 \text{ 007 დნობა}$$

თუ დავაზუსტებთ წარმადობას:

$$6007 \text{ დნობა} \times 50 = 300 \text{ 356,9 ტონა ფოლადი წელიწადში}$$

ცხრილი 13. საამქროს ძირითადი საწარმოო მაჩვენებლები

№	მაჩვენებლების დასახელება	ღუმელზე
1	ღუმელის მოცულობა, ტ	50
2	მუშაობის კალენდარული დრო, დღე-ღამე	365
3	კაპიტალური შეკეთებები, დღე-ღამე	7

4	ცხელი გაჩერებები, დღე-ღამე	5,4
5	ფაქტიური სამუშაო დღე, დღე-ღამე	335
6	დნობის ხანგრძლივობა, წთ	47
7	დნობების რაოდენობა	6 007
8	წარმოებული ფოლადის რაოდენობა, ტ	300 350

ცხრილი 14. პროდუქციის თვითღირებულების ანგარიში

პოზ. №	ხარჯების დასახელება	ფასი, აშშ დოლარი /ტ	თვითღირებულება	
			რაოდენობა ტ/ტ	ჯამი, აშშ დოლარი
1	ნედლეული და ძორითადი მასალები			
1.1.	ფოლადის ჯართი, ტ	160.000	0.750	120.000
	ჯართი საკუთარი, ტ	100.000	0.100	10.000
	DRI პირდაპირადდგენილი რკინა	270.000	0.150	40.500
	სულ, ტ			170.500
1.2.	ფეროშენადნობები, ტ			
	ფერომანგანუმი 78%	1250.000	0.001	1.250
	ფეროსილიციუმი 65%	1750.000	0.001	1.750
	სილიკომანგანუმი 25%	1200.000	0.015	18.000
	სილიკოკალციუმის მავთული	1400.000	0.001	1.400
	ბორისშემცველი მასალები	300.000	0.010	3.000
	ალუმინის მავთული	1200.000	0.010	12.000
	სულ, ტ			37.400
2	ნარჩენები ელ. ღუმელიდან, ტ			
2.1.	ნარჩენი ჯართი, ტ	100.000	0.030	3.000
2.2.	წიდა, ტ	0.000	2.000	0.000
	სულ, ტ			3,0
3	ნარჩენები უწყვ. ჩამოსხმის დანად.			
3.1.	ჩამონაჭერი, ტ	100.000	0.010	1.000
3.2.	შუალედური ციცხვიდან ნარჩენები, ტ	100.000	0.010	1.000
3.3.	გამანაწილებლიდან ნარჩენები, ტ	50.000	0.010	0.500
3.4.	ხენჯი, ტ	2.000	0.001	0.002
	სულ			2.502
4	მასალები და დანამატები, ტ			
4.1.	კირი, ტ	25.000	0.050	1.250

4.2.	კირქვა, ტ	22.000	0.003	0.066
4.3.	დოლომიტი, ტ	30.000	0.004	0.120
4.4.	მაგნეზიტის ფხვნილი	85.000	0.025	2.125
4.5.	ქრომომაგნეზიტის ფხვნილი	150.000	0.010	1.500
4.6.	კოლემანიტი	300.000	0.010	3.000
4.7.	კოქსი მეტალურგიული	150.000	0.020	3.000
4.8.	თბოსაიზოლაციო მინარევი	200.000	0.006	1.200
4.9.	შუალედ. ციცხვისწიდაწარმომ. მინარევი	180.000	0.012	2.160
4.10.	კრისტალიზატორის მინარევი	150.000	0.018	2.700
4.11.	მეორადი ალუმინის წარმოების ნარჩენები	40.000	0.170	6.800
	სულ			23.921
5	მიღების წარმოება 20-89მმ			
5.1.	ზეთები	2000,0	0,0003	0,6
5.2.	გლინების ხარჯი	3000	0.00018	0,540
5.3.	კომპრესორული ჰაერი ათასი მ ³	5,070	0,13	0,660
5.4.	ტექნიკურიწყალი, ათასი მ ³	11.200	0,050	0,560
5.5	წუნი და ჩამონაჭრი, ტ	120.000	2,00	2,400
5.6.	სხვადასხვა მაკომპლექტებლები			5,000
5.7.	ელ ენერგია, კვტ.სთ/ტ	27.000	0,500	13,5
5.8.	გადამუშავების კოეფიციენტი	500.00	1,010	5,000
5.9.	ხელფასი			5,000
	სულ			32,600
6	ენერგეტიკული დანახარჯები			
6.1.	ელექტროენერგიაკვტ/სთ	27.000	0.350	9.450
6.2.	სითბო, ჯოული	73x10 ⁶	1.221	0.890
6.4.	ტექნიკური წყალი, ათასი მ ³	11.200	0.030	0.336
6.5.	კომპრესორული ჰაერი,ათასი მ ³	5.070	0.059	0.299
6.7.	ბუნებრივი აირი, ათასი მ ³	120.000	0.050	6.000
6.8.	ჟანგბადი, ათასი მ ³	39.000	0.030	1.170
6.9.	არგონი, ათასი მ ³	131.000	0.001	0.131
6.10.	აზოტი, ათასი მ ³	18.100	0.069	0.000
	სულ			18.276
7	ხელფასი			1.200
8	სოცდაზღვევის ანარიცხები			0.510
9	საცვლელი მოწყობილობა, ელექტროდები, ინსტრუმენტი			70.000
10	ძირითადი საშუალებების ამორტიზაცია			23.000

11	სარემონტო ფონდიმ.შ. ცეცხლგამძლე მასალები			13.600
12	სატრანსპორტო ხარჯები			0.400
13	საწარმოს სხვადასხვა ხარჯები			1.840
14	საერთო სამეურნეო ხარჯები			5.400
	სულ			406,733

პროექტის ღირებულების ანგარიში. წარმოების მომგებიანობა იანგარიშება თვითღირებულებაზე მოგების თანხის დამატებით. ჩვენს შემთხვევაში ავიღოთ ყველაზე პრაგმატული მაჩვენებელი 20%. რაც თვითღირებულებიდან შეადგენს [123]:

$$20\% \times 406,733 = 81,35 \text{ აშშ დოლარს}$$

მთლიან წარმადობაზე ეს მაჩვენებელი ასე გამოიყურება:

$$81,35 \times 300\,000 \text{ ტ} = 24\,405\,000 \text{ აშშ დოლარი}$$

თუ გავითვალისწინებთ საქართველოში მოგებიდან 15%-იან საგადასახადო ვალდებულებას წმინდა მოგებას მივიღებთ:

$$24\,405\,000 \times (1 - 15/100) = 20\,744\,250 \text{ აშშ დოლარს}$$

თუ გავითვალისწინებთ თანამედროვე მეტალურგიულ კომპლექსების მშენებლობის პრაქტიკას, ჯართზე მომუშავე ახალი საწარმოების მშენებლობა ჯდება საშუალოდ 250 აშშ დოლარი ერთი ტონა პროდუქციის წარმოებაზე, მივიღებთ:

$$300\,000 \text{ ტ} \times 250 = 75\,000\,000 \text{ აშშ დოლარს}$$

ხოლო იმ შემთხვევაში თუ კომპლექსის მშენებლობისათვის შევარჩევთ რომელიმე შესაფერის მიტოვებული საწარმოს ინფრასტრუქტურასა და შენობა-ნაგებობებს, მშენებლობის ფასმა შეიძლება 20% ღირებულებისა მოიკლოს.

$$\text{ასეთ შემთხვევაში } 75 \text{ მლნ.} - 75 \text{ მლნ. } 20\% = 60 \text{ მლნ. აშშ დოლარს}$$

ცხრილი 15. პროექტის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები

№	დასახელება	მაჩვენებელი
1	ფოლადსადნობი აგრეგატის მოცულობა, ტ	50.0
2	დნობის ხანგრძლივობა, წთ	47,0
3	პერსონალის რაოდენობა, კაცი	453
4	საშუალო თვიური ხელფასი, აშშ დოლარი	276.0
5	პროდუქციის თვითღირებულება, აშშ დოლარი	406,7

6	კაპიტალდაბანდების რაოდენობა ახალი საწარმო, მლნ აშშ დოლარი	75,0
7	კაპიტალდაბანდების რაოდენობა ძველის ადგილზე მლნ აშშ დოლარი	60,0
8	წლიური წმინდა მოგება, აშშ მლნ აშშ დოლარი	20,7
9	პროექტის ამოგების პერიოდი ახლის შემთხვევაში, წელი	3,5
10	პროექტის ამოგების პერიოდი, წელი	2,9

მეტალურგიული კომპლექსის ეკოლოგიის საკითხების გადაწყვეტა უნდა

მოხდეს თანამედროვე მინი-მეტალურგიული კომპლექსები პროგრესული ენერგოდამზოგავი ტექნოლოგიების გამოყენებით, გარემოზე ბევრად ნაკლები მავნე ზემოქმედებით, ვიდრე სრული ციკლის საწარმოები. ატმოსფეროში და წყლზე გამონაბოლქვების შემცირება განპირობებულია რიგი ფაქტორებიდან გამომდინარე, მ.შ. ეკოლოგიურად სუფთა ტექნოლოგიური სქემების გამოყენებით, ტექნოლოგიური პროცესების და აგრეგატების სრულყოფით, გამავალი აირების გაწმენდის მაღალეფექტური ტექნოლოგიების დანერგვით, ჩამდინარე წყლების შემცირებისა და მთლიანად აღკვეთით, გამოყოფილი სითბოსა და ნარჩენების უტილიზაციით. საწარმოს ენერგოტევადობის შემცირება ხელს უწყობს გამოტყორცნილი სითბოსა და ნახშირორჟანგის რაოდენობის შემცირებას ელექტრო ენერჯის წარმოებისას, რაც შეიძლება ითქვას დღეისათვის სახელმწიფო მნიშვნელობის საკითხია [124, 125].

გარემოს დაცვის საკითხი სამ ძირითად მიმართულებას მოიცავს: ჰაერის, წყლის ბასეინის და ნიადაგის დაცვას [126].

მავნე ნივთიერებების გამოტყორცნა მეტალურგიულ წარმოებაში შეადგენს 100 კგ/ტ ფოლადზე. ევროსტანდარტები ეკოლოგიაზე ითვალისწინებს გამონაბოლქვებთან ბრძოლის სამ დონეს:

1. სუფთა ტექნოლოგიების განვითარებას;
2. არსებულ საწარმოებში მათ შემცირებას ან მთლიანად აღკვეთას;
3. ნარჩენების უტილიზაციას, საკუთარ ან მონათესავე ტექნოლოგიებში ნედლეულის ან საწვავად გამოყენებით [127].

ელექტროფოლადსადნობი წარმოების პროცესში წარმოიშვება მტვერი, შლამები, წიდები, ლითონური ნარჩენები, გამოყენებული ზეთები, მჟავები და სხვა საწარმოო ნარჩენები, რომელთა არა მარტო სათანადო განთავსება და

გადამუშავებაა მნიშვნელოვანი ამოცანა, არამედ მუშაობის ნორმალური პირობების უზრუნველსაყოფაა აქტუალური. ძირითადი ამოცანა კი საწარმოო ნარჩენების შემცირება და მათი გადამუშავების შემდგომი გამოყენების მიზნით.

მსოფლიო მაშტაბით ეკოლოგიური მენეჯმენტის სისტემას არეგულირებს საერთაშორისო სტანდარტი ISO14000-2015, რომელზეც სერტიფიცირება ყველა თანამედროვე კომპანიის მოვალეობაა. მეტალურგი-ული საწარმოები უნდა აკმაყოფილებდნენ შემდეგ ძირითად მოთხოვნებს.

ცხრილი 16. ატმოსფეროში გამონაბოლქვების მაჩვენებლები

კონტროლის ობიექტი	ნივთიერებების შემცველობა, კგ/მ ³			
	მტვერი	N2O3	SO2	CO
ღუმელიდან გამოსვლისას	-	250	250	100
სამუშაო მოედანზე	5	30	10	80
აირგამწმენდის შემდეგ	< 5	0,06	0,05	1

რეკომენდირებული მაჩვენებლები ატმოსფეროში გამონაბოლქვისა უნდა შეადგენდეს კგ/ტ პროდუქციაზე: მტვერი - 0,7კგ/ტ; NO_x – 0,2; SO₂ – 0,1; CO – 2,0.

ჩვენს მიერ პროექტირებული და მშენებარე მეტალურგიული კომპლექსის პირობებში, ელექტროღუმელიდან გამომავალი აირების შემადგენლობა დამოკიდებულია: კაზმის შემადგენლობაზე, დნობის სიჩქარეზე, დნობის ტექნოლოგიურ და ტემპერატურულ რეჟიმებზე, ჟანგბადის გაქრევის რაჟიმზე და ა.შ.

დნობის პროცესში ლითონის ჟანგბადით გაქრევისას ქიმიური რეაქციები მიმდინარეობს აირების, ელექტროდების ნაშწვის, რკინის, სილიციუმის, ალუმინის ჟანგის და სხვა მინარევების აორთქლების ეფექტით. ელ. ღუმელიდან აირები გამოიყოფა კაზმის ჩატვირთვისას, დნობის პროცესში და ლითონის გამოშვებისას ციცხვში. აირების შემადგენლობაა, მიახლოებით: 15-25% CO; 5-11%CO₂;0,5-3,5%; 3,5-10% ჟანგბადი; 61-72% აზოტი [128].

ამას გარდა, აირები მცირე რაოდენობით შეიცავს ტოქსიკურ მიკროკომპონენტებს, მგ/მ³(გ/ტ): აზოტის ჟანგეულებს - 550(270); გოგირდის ჟანგეულებს - 5/(1,6); ცეანიდებს - 60(28); ფტორიდებს - 1,2(0,56).

თუ გავითვალისწინებთ, რომ ღუმელიდან გამოსავალზე აირების ტემპერატურა 1800-2000°C-ია და ფეთქებადსაშიშია მასში CO-ს შემცველობის გამო იგეგმება მისი დაწვა სპეციალურ მოწყობილობაში.

მტვრის კონცენტრაცია გამომავალ აირებში იცვლება დიდ ზღვრებში 2.0 დან 10.0 გ/მ³ ჟანგბადით გაქრევის გარეშე და 14.0 დან 100.0 გ/მ³ ჟანგბადის გამოყენების პირობებში. მტვრის საშუალო ხვედრითი წილი შეადგენს 6.0 დან 9.0 კგ/ტ-დზე. მტვრის ძირითადი (~42%) მასა წვრილდისპერსიულია. წინაწარმოქმნილი და ფხვიერი მასალები წარმოქმნიან უფრო მსხვილდისპერსიულ მტვერს.

მტვრის მთლიანი რაოდენობის 75% წარმოიშვება დნობის პროცესის პირველ პერიოდში, ხოლო 40% მთელი მტვრისა წარმოადგენენ ტექნოლო- გიურ გამონაბოლქვებს და ფოლადსდნობი საამქროს ატმოსფეროში გაიბნევიან [129].

ჰაერში მავნე გამონატყორცნების შესამცირებლად, გამონაბოლქვი აირების გაწმენდამდე წარმოების ყვალა უბანზე ვახდენთ მის დაჭერას, შემდეგი სქემით.

1. საამქროს ჰერში ფარანების და დაბალ ნიშნულებზე გამწოვი შახტების მოწყობა, რომლებიც უზრუნველყოფენ აირების ბუნებრივ და იძულებით გაწოვას.

2. ელექტრო ღუმელის თაღზე არსებული მუხლიდან აირგამწოვი ტრაქტით აირების ევაკუაციას.

კავშირი გამოყოფილი აირების(G,ნმ³/სთ)) რაოდენობისა ღუმელის ტევადობასთან(Q) გამოისახება მ.გასიკის ფორმულით:

$$G = 21862,6 \cdot \lg Q - 9007,6$$

ხოლო კავშირი აბაზანის ჟანგბადით გაქრევის ინტენსივობისა ღუმელის ტევადობასთან შეადგენს:

$$I_o = 5,196 + 0,921$$

გამოყოფილი აირების საერთო რაოდენობა განისაზღვრება უპირველესად ღუმელის ტევადობით, ხოლო მისი ხვედრითი წილი დამოკიდებულია დნობის ტექნოლოგიაზე, ჟანგბადის ხარჯზე, ნახშირბადშემცველი მასალებისაგან, ნამწვი ინერტული აირების რაოდენობასაგან. ჩვენს მიერ შერჩეული 50.0 ტ ელექტროღუმელეში გამომავალი აირების ინტენსივობა CO-ს CO₂-მდე ანუ ბოლომდე დაწვის პირობებში შეადგენს:

აირების გამონაბოლქვი 50 ტ ელექტროლუმელიდან:

- ჟანგბადის მიწოდების ინტენსივობა - 35 ნმ³/წუთ;
- ლუმელიდან აირების გამოყოფა - 28 000 ნმ³/ტსთ;
- ზონტიდან აირების შეწოვა - 700 ათასი ნმ³/სთ;
- სახელოიან ფილტრებზე მოსული აირები - 1 000 ათასი ნმ³/სთ.

გამავალი აირების გამწმენდი აგრეგატის ტიპის შესარჩევად ძირითადი ფაქტორია მტვერის დისპერსიული შემადგენლობა: რაც უფრო წმინდაა მტვერი, მით უფრო დიდი ზომისა და ღირებულების აგრეგატების გამოყენებაა საჭირო მის დასაჭერად. ასეთი მტვერის მაღალეფექტურად გასაწმენდად გამოიყენება სამი სხვადასხვა ტიპის აგრეგატი: ნაჭრის ფილტრები, ელექტროფილტრები და სველი მეთოდით, მ.შ. ვენტურის სკრუბერით ნამწვი აირების გაწმენდის ძირითად ღირსებას მშრალი გაწმენდის სისტემებთან შედარებით წარმოადგენს პატარა გაბარიტები და უმნიშვნელო კაპიტალური დანახარჯები. სველი მეთოდის საშუალებით კარგად შეიძლება დავიჭიროთ მტვერის 5-10 მკმ ზომის ნაწილაკები, ამასთან იგი ხასიათდება მაღალი საექსპლოატაციო დანახარჯებით, რომლებიც დაკავშირებულია ჩაკეტილი და მბრუნავი ციკლით მომუშავე წყალმომარაგების სისტემის ექსპლოატაციისას წყლის დიდ ხარჯებთან [130].

ელექტროფილტრების გამოყენება ეფექტურია დიდი მოცულობის აირების მაღალი ხარისხით 2-10 მკმ ზომის ნაწილაკების მტვერის გასაწმენდად, მაგრამ აქვს უარყოფითი მახასიათებლებიც. კერძოდ, მტვერის დალექვისას ფილტრის ელემენტებზე კარგავს გაწმენდის ეფექტურობას და საშიშია მათი გამოყენება ფეთქებადსაშიშ გარემოში მათი ნაპერწკალის წარმოშობის საშიშროებიდან გამომდინარე. ზემოთაღნიშნულიდან გამომდინარე ჩვენს შემთხვევაშიც უპირატესობას ვანიჭებთ გამავალი აირების გაწმენდის მშრალ მეთოდს, კერძოდ სახელოიან ფილტრებს, ამასთან აირგაწმენდის კონტურში ვიყენებთ სპრეერით მტვერის დაჯენის კამერას, რომელიც მთლიანად სისტემას ეხმარება აირის მაღალ დონეზე გაწმენდაში. რაც შეეხება ნარჩენების გადამუშავებასა და უტილიზაციას:

ელექტროფოლადსადნობი და მილების წარმოების ნარჩენებს წარმოადგენს:

- ფოლადსადნობისა: ჯართი, წიდა, ცეცხლგამძლე მასალების ნამტვრევი, აირგაწმენდის სისტემის მტვერი და სპრეერის ავზში დაგროვებული შლამი;
- მილსაგლინავის: ფოლადის ჯართი, ბურბუმელა და წყლის მბრუნავ სისტემაში დალექილი შლამი.

ფოლადის წარმოების ნარჩენები: ჯართის და შლამის გადადნობა მოხდება ელექტროლუმელში.

წიდის გადამუშავება იგეგმება შემდეგი ტექნოლოგიით: ჯერ ხდება წიდის დამსხვრევა, შემდეგ მისგან ლითონური ნაწილის გამოცალკეება და ფოლადსადნობ ლუმელში გადადნობა, დარჩენილი ნარჩენების გრანულაცია, ცემენტის წარმოებისათვის და ინერტულ მასალად გზების მშენებლობაზე გამოსაყენებლად.

საერთოდ, მეტალურგიული წიდები ასევე კარგი ნედლეულია მინერალური ბამბისა და წიდის კემზის საწარმოებლად.

მიღების წარმოების ნარჩენები: ჯართი, ბურბუმელა და შლამი ფოლადსადნობ ლუმელში გადაიდნობა.

ერთის მხრივ ნარჩენების გადამუშავება და უტილიზაცია, მათი გამოყენება იაფ ნედლეულად წარმოებისათვის კაზმში გამოყენება მოგვცემს თვითღირებულების შემცირების საშუალებას. მეორეს მხრივ, ეკოლოგიური საკითხების გადაწყვეტა მნიშვნელოვნად შეამცირებს ბუნებაზე ზემოქმედებას [131-134].

ზემოთაღნიშნული საკითხების გადაწყვეტა ხდება უკვე პროექტირების საწყის სტადიაში ტექნოლოგიური დავალების მომზადების პროცესში, რაც მნიშვნელოვანია წარმოების ოპტიმალური ტექნოლოგიის დასადგენად და მოცულობითი დაგეგმარებისას საჭირო გადაწყვეტილებების მისაღებად.

დასკვნა

1. მეტალურგიულ პრაქტიკაში წინაწარმოქმნელ მინარევებში ეკოლოგიურად მავნე მლღობი შპატის ბორისშემცველი მინარევით-კოლემანიტით ჩანაცვლების და დესულფურაციის გაუმჯობესების მიზნით ნახშირბადიან ფოლადზე ჩატარებული ექსპერიმენტული დნობების შედეგად, როდესაც მინარევების დოზირება ხდებოდა 5.0 კგ/ტონაზე ანგარიშით. მ.შ. კირი - 2,75კგ/ტ; მაგნეზიალური ფლუსი - 0,6კგ/ტ; ალუმინის წარმოების ნარჩენები - 0,65 კგ/ტ; კოლემანიტი - 1,0 კგ/ტ., დავადგინეთ:

- დესულფურაციამ ამ დნობებზე შეადგინა 65,7% და 63,3%, მაშინ როდესაც მლღობი შპატის გამოყენებისას დესულფურაციის ეფექტი შეადგინდა 30,6%;
- კოლემანიტის გამოყენებისას წინაში გადასული ბორის ანჰიდრიდიდან მოხდა ბორის აღდგენა, ანუ ფოლადის მიკროლეგირება 0,001% და 0,0095% ოდენობით, რითაც ფოლადში მივიღეთ:
- წვრილდისპერსიული ფერიტო-ბენიტური ტიპის სტრუქტურა;
- წარმოიქმნება მრგვალი ფორმის არა უმეტეს 5 მკმ ზომის ჩანართები;
- ნამზადების მექანიკური თვისებების განსაზღვრისას დნობაზე 0,001% ბორის შემცველობის პირობებში დროებითი წინააღმდეგობამ $\sigma_{\text{დრ}}$ შეადგინა 650 მპა მაშინ, როდესაც ბორის გარეშე შპატით დამუშავებულ ნადნობზე ეს მაჩვენებელი 610 მპა შეადგენს. დენადობის ზღვარის $\sigma_{\text{დფ}}$ მაჩვენებლებიც შესაბამისად 575 მპა 540 მპა- სთან შედარებით;
- კოლემანიტის ღირებულება შპატთან შედარებით 5-ჯერ ნაკლებია, რაც ფოლადის თვითღირებულებას ამცირებს;
- მლღობი შპატის მინარევებიდან ამოღებით მოხდა ეკოლოგიური ფონის გაჯანსაღება.

2. ფოლადის ჩამოსხმის პროცესში საჩამოსხმო ჭიქის შიდა და გარე კედლების მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედებისაგან დასაცავად და ჩამოსხმის არეალში ინერტული გარემოს შესაქმნელად შევიმუშავეთ საჩამოსხმო მოწყობილობა, რომელიც უზრუნველყოფს:

- თხევადი ფოლადის მენისკის არეალში ინერტული აირის გარემოს შექმნას, რაც ლითონს იცავს ატმოსფერული ჟანგბადის ზემოქმედებისაგან;

- ინერტული აირების არხებში დინების ტემპერატურისა და წნევის შერჩევარეგულირებით ჩამოსხმული ფურცლის ზედაპირის ხარისხის გაუმჯობესებას;
- ძვირადღირებული საჩამოსხმო ჭიქის ტემპერატურამედეგობის გაზრდით, ანუ მისი ექსპლოატაციის დროის გახანგრძლივებით ფოლადის თვითღირებულების შემცირებას.

3. სწორნაკერიანი ფოლადის მილების წარმოების პროცესში, შედუღების კვანძში ნაკერის ტანში ე.წ. „ცივი ბზარების“ ანუ ფლოკენების წარმოქმნის აღსაკვეთად შემუშავეთ მილის ნაკერის ინერტული აირით დაცვის ტექნოლოგია, რომლის საშუალებითაც:

- 3,5 ატმ წნევის პირობებში სპრეერების დახმარებით არგონით გაფრქვეულმა ემულსიამ შექმნა მილის ნაკერის თავზე ღრუბელი, რომელიც მილის შედუღების ზონას იცვას ატმოსფერული ჰაერის ზემოქმედებისაგან;
- გაფრქვეული ინერტული აირის ტემპერატურის შერჩევით მიღწეულია მილის ნაკერის გაციების საჭირო ტემპერატურა, რომელიც გამორიცხავს წყალბადით გამოწვეულ ბზარებს.

4. ფოლადის ფურცლის წარმოების ტრადიციული ტექნოლოგიური სქემა შედგება ფოლადსადნობი, საგლინავი და ფურცელსაგლინავი საამქროებისაგან.

ჩვენს მიერ შემუშავებულია ტექნოლოგიური სქემა, რომლის მიხედვითაც:

- თხევადი ფოლადის მიღება და მილების წარმოება ერთ სივრცეშია განთავსებული;
- ვიყენებთ ფურცლის პირდაპირი ჩამოსხმის ინოვაციურ “Castripe” ტექნოლოგიას, რომლის განთავსებაც 70,0 მეტრის სიგრძის შენობაშია შესაძლებელი და აღარ არსებობს ფურცელსაგლინავი საამქროს საჭიროება;
- ტექნოლოგიური პროცესების შემცირების ხარჯზე მცირდება: პროდუქციის წარმოების თვითღირებულება და კაპიტალური დანახარჯები 70%-ით ტრადიციულ ტექნოლოგიასთან შედარებით.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Л.Е. Никольский, И.Ю. Зинуров. Оборудование и проектирование электросталеплавильных цехов. М.: Металлургия, 1993. с. 272.
2. Паршин В.М., Рапопорт И.Г. Производство нового типа как стратегия модернизации черной металлургии в России «Сталь», 1998г., № 3, с. 14-16.
3. Michielan A., Fion A. The Danieli Danarc Plus M2 furnace at ABS Meltshop «6-th European Electric Steel Congress», Dusseldorf, 1999, p.78-83.
4. Минаев А.А., Смирнов А.Н., Лубенец А.Н. Оптимизация системы технологического проектирования проката ответственного назначения из непрерывнолитого блюма //Металлургическая и горнорудная промышленность, 2002. - №8-9. - С. 180-184.
5. Кутаков А.В., Дервянченко И.В., Казанцев Б.В. и др. Развитие электросталеплавильного производства в условиях Молдавского металлургического завода. «Сталь», 2000, № 1, с. 23-25.75.
6. Фукс Г., Кнапп Х. Современные высокоэффективные электродуговые печи для оснащения сталеплавильных цехов «Электрометаллургия», 1998, № 0, с. 10-12.
7. Nyssen P., Marique C., Prum C. A new metallurgical model for the control of EAF operation "European Electric Steelmaking Conference" Dusseldorf, 1999г.p.43-50.
8. Кутаков А.В., Дервянченко И.В., Казанцев Б.В. и др. Развитие электросталеплавильного производства в условиях Молдавского металлургического завода. «Сталь», 2000, № 1, с. 23-25.75.
9. Kohl S., Powell M., Tercelli C. Secondary metallurgy requirements for continuous casting of billet "3rd International Metallurgical Conference", «Continuous casting of billets» TRINEC, 2011, p. 23-31.
10. Krats M. Effect of adding reactance in AC electric arc furnace -«5-th European Electric Steel Congress», Paris, 2005, p. 273-282.
11. Основные технические решения реконструкции электросталеплавильного цеха №2 ОЭМК /Л.М.Савинов, Б.М. Шапиро, А.В. Хвощинский и др.–Сталь. - 1998. - №9. – С.21-25.
12. Шевелев Л.Н. О ликвидации избыточных (неэффективных) мощностей в черной металлургии// Электрометаллургия. – 2003. - №1. – с. 6-9.
13. А.Я.Стомахин, В.И.Галкин. Альтернативы металлолomu есть. Выбор с помощью экономического расчета // Электрометаллургия №7, 2008, с.34-37.
14. Schubert M. Recent developments in the field of electric arc furnaces// METEC'89. 3rd International Exhibition for Metallurgical Tehnology. Dusseldorf. 20-26.
15. Пилюшенко В.Л., Вихлевщук В.А. Научные и технологические основы микрولةгирования стали: М. : Металлургия, 2000. 384с.
16. Голубцов В.А., Лунев В.В. Модифицирование стали для отливок и слитков: ЧелябинскЗапорожье: ЗНГУ. 2009. – 356с.

17. Гольдштейн Я.Е., Мизин В.Г. Модифицирование и микролегирование чугуна и стали. – М.: Металлургия. 1986. – 272с.
18. Бор, кальций, ниобий и цирконий в чугуне и стали/ Под ред. С.М. Винорова, ГНТИ по черной и цветной металлургии. – 1961. – 459 с.
19. Бобылев М.В., Королева Е.Г., Штанников А.М. Перспективные экономлегированные борсодержащие стали для производства высокопрочных крепежных деталей// Металловедение и термическая обработка металла. – 2005. №5 – С. 51-55.
20. Сычков А.Б., Парусов В.В., Нестеренко А.М., Жигарев М.А. Структура и свойства катанки из борсодержащих сталей, предназначенной для изготовления сварочной проволоки// Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2000. № 3. – С. 48-51.
21. Левченко Г.В., Яценко А.И., Репина Н.И. Опробование технологии производства тонколистовой низкоуглеродистой стали, микролегированной бором// Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2003. № 1. – С. 56-59.
22. Лякишев Н.П., Плинер Ю.Л., Лаппо С.И. Борсодержащие стали и сплавы: М.: Металлургия. – 1986. -192с.
23. Бабенко А.А., Жучков В.И., Леонтьев Л.И. и др. Микролегирование стали бором – перспективное направление повышения конкурентоспособности отечественной металлопродукции// Труды научно – практической конференции «Перспективы развития металлургии и машиностроения с использованием завершенных фундаментальных исследований и НИОКР» – Екатеринбург: ООО «УИПЦ». – 2013. – С. 162 - 165
24. Кривко Е.М., Чуб П.И., Коновалов Р.П. и др. Микролегирование кипящей стали бором при восстановлении его из окислов// Разливка стали в изложницы: Сб.науч.тр. НЧМ СССР. – М.: Металлургия, 1984. С. 24-25.
25. Бабенко А.А., Жучков В.И., Смирнов Л.А. и др. Исследование и разработка комплексной технологии производства низкоуглеродистой борсодержащей стали с низким содержанием серы // Сталь. – 2015. №11. – С.48-50.
26. Соколов Г.А. Внепечное рафинирование стали. – М.: Металлургия. 1977.-208с.
27. Чумаков С.М., Ламухин А.М., Зинченко С.Д. и др. Концепция производства низкосернистых сталей на ОАО «Северсталь» с учетом технологических аспектов // Труды VI конгресса сталеплавателей. М.: АО «Черметинформация», 2001. – С. 63–66.
28. Hongming, W. Effect of B₂O₃ on Melting Temperature, Viscosity and Desulfurization Capacity of CaO – based Refining Flux / W. Hongming, Z. Tingwang, Z. Hua, и др. // ISIJ International. vol. 51. 2011. № 5. pp. 702–708.
29. Акбердин А.А., Киреева Г.М., Медведовская И.А. Влияние B₂O₃ на вязкость шлаков системы CaO - SiO₂ - Al₂O₃ // Известия АН СССР. Металлы. – 1986. № 3. – С. 55-56.

30. Рафинирование стали в процессе CAS-OB при модификации шлака $B_2O_3 - CaO$ и $CaF_2 - CaO$ // Новости черной металлургии за рубежом. 2008, № 3. – С. 30-32.
31. Бабенко А.А., Жучков В.И., Смирнов Л.А., Сычев А.В., Уполовникова А.Г. Использование метода симплексных решеток для построения диаграмм состав-вязкость шлаков системы $CaO-SiO_2-Al_2O_3-MgO-B_2O_3$. Бутлеровские сообщения. – 2016. Т.48. №11. – С. 40-44.
32. Уполовникова А.Г., Бабенко А.А. Термодинамическое моделирование процессов восстановления бора из борсодержащих шлаков. Бутлеровские сообщения. – 2016. Т.48. №10. – С. 114-118.
33. Патент № 2562849 «Шлаковая смесь для обработки стали в ковше» Бабенко А.А., Жучков В.И., Селиванов Е.Н., Сычев А.В., Золин А.Н., Добромиллов А.А., Кутдусова Х.Ш., Саврасов А.И., Ким А.С., Акбердин А.А. Опубликовано в Бюл. №25 от 10.09.2015 г.
34. Патент № 2563400 «Способ микролегирования стали бором» Бабенко А.А., Жучков В.И., Селиванов Е.Н., Сычев А.В., Белев А.А., Дресвянкина Л.Е., Житлухин Е.Г., Зуев М.В., Мурзин А.В., Ушаков М.В. Опубликовано 20.09.2015. Бюл. № 26.
35. Бабенко А.А., Жучков В.И., Селиванов Е.Н., Сычев А.В. Шлаковая смесь для обработки сталит в ковше. Пат. № 30964 (Республика Казахстан) 2016.
36. Титова Т.Н., Шульган Н.А., Литвак В.А., Козина О.Ю. Повышение прочности конструкционных сталей за счет микролегирования бором. Балтийские металлы. 1999. №3(8). С. 18-19.
37. Титова Т.И., Шульган Н.А., Козина О.Ю. Обеспечение надежности листового проката борсодержащей стали типа ASTM A514. Сб. докл. научно-техн. конф. «Азовсталь-99». Мариуполь 1999. С.29.
38. Гитова Т.И., Шульган Н.А., Литвак В.А., Павлова А.Г. Опыт Термомеханической обработки борсодержащей стали повышенной прочности. Сб. докл. международ. научно-техн. конф, «Высокие технологии в современном материаловедении».СП 1997. С.40-4).
39. Кутаков А.В., Сычков А.Б., Жигарев М.А. и др. Влияние микродобавок бора на механические и технологические свойства катанки. -"Сталь", 2000, № 1, с. 66-67.
40. G. Thomas, "Modelling of Continuous Casting Defects Related to the Mold Fluid Flow, 3rd Internat. Congress on Science & Technology of Steelmaking, Charlotte, NC, May 9-12, AIST, Warrendale, PA, 2005, pp. 847-861.
41. Kohl S., Powell M., Tercelli C. Secondary metallurgy requirements for continuous casting of billet "3rd International Metallurgical Conference", «Continuous casting of billets» TRINEC, 2011, p. 23-31.
41. Krats M. Effect of adding reactance in AC electric arc furnace -«5-th European Electric Steel Congress», Paris, 2005, p. 273-282.

42. Еронько С.П., Сотников А.Л., Ткачев М.Ю. Совершенствование системы быстрой смены погружных стаканов для серийной разливки стали на слябовых МНЛЗ // *Металлургические процессы и оборудование*. – 2012. – №3. – С. 26-40.
44. Разработка эффективных разливочных систем промежуточных ковшей МНЛЗ / С.П. Еронько, Д.А. Яковлев, И.А. Орлов и др. // *Металлургические процессы и оборудование*. – 2009. – №2. – С. 39-48.
45. Совершенствование разливочных систем промежуточных ковшей МНЛЗ / С.П. Еронько, А.Ю. Цупрун, К.В. Дубойский и др. // *Электрометаллургия*. – 2009. – №7. – С. 37-43.
46. Еронько С.П. Разработка отечественного конкурентоспособного оборудования для дозированного перелива стали // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – №2. – С. 180-185.
47. Аксельрод Л.М., Паршин В.М., Мазурок Е.Ф. Механизм зарастания погружных стаканов при непрерывной разливке стали // *Сталь*. – 2007. – №4. – С.30-33.
48. Патент 96891 Україна, В22D41/56, В22D11/106. Маніпулятор для заміни занурювального стакана на слябовій машині безперервного лиття заготовок / С.П. Еронько, М.Ю. Ткачов, К.В. Дубойський; Донец. нац. техн. ун-т. №2010155511; заявлено 23.12.2010; опубл. 12.12.2011. Бюл. №23.– 5 с.
49. Расчет и конструирование системы быстрой замены погружных стаканов при непрерывной разливке стали / С.П. Еронько, А.Л. Сотников, М.Ю. Ткачев и др. // *Металл и литье Украины*. – 2011. – №12. С. 36-44.
50. Четвертое поколение тонкослябовых МНЛЗ компании Danieli // *Steel Times Int.*(на рус. яз.) 2012. Май. 18- 19.
51. Рекомендации по проектированию предприятий малой и средней мощности. ЦНИИпромзданий: С.В. Блинков и др. Москва.1994.
52. Тонкослябовые литейно-прокатные агрегаты для производства стальных полос: Учебное пособие / В.М. Салганник, И.Г. Гун, А.С. Карандаев, А.А. Радионов. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. - 506 с.
53. W.Bald, G. Kerpe, D. Rosental. *Steel Times Int.* 2000.9.p. 16-19 Разл.
54. Thin gauge hot strip. *Steel Times Int.* 2000.7.p. 30-34.
55. Степанов А.Н., Зильберг Ю.В., Неуструев А.А. Производство листа из расплава. М.: *Металлургия*, 1978. 160 с.
56. Способ горячей прокатки стальной полосы и установка для его осуществления: Патент 2057601 РФ / СМС Шлеманн-Зимаг АГ, Вольфганг Роде, Юрген Зайдель. №4203574/63; Заявл. 02.11.1987; Оpubл. 10.04.1996. Бюл. №10. 6 с
57. Минаев А. А. Совмещенные металлургические процессы / А. А. Минаев. – Донецк :Технопарк Дон НТУ УНИТЕХ, 2008. – 522с.
58. Способ прокатки непрерывно отливаемой заготовки: А.с. 1235053 СССР /Е.А. Коршунов, А.Г. Коробов,Б.М. Мельников, В.М. Кавтрев, М.И. Федоров, В.П. Костров, Ю.А. Коротков. №38217003/02; Заявл. 20.12.1984Оpubл. 20.02.1996. Бюл. №5. 4 с.

59. Вальтер М. EUROSTRIP—способ литья полосы на заводе фирмы «Krupp Thyssen Nirosta GMBL» / М. Вальтер, В. Манкау, Х.-Ю. Фиггс и др. // Чёрные металлы. – 2001, октябрь. – С. 55–59.
60. Edelman D. G. Recent Developments With Ultrathin Cast Strip Products Produced by the Castrip v Process / D. G. Edelman, P. C. Campbell, C. R. Killmore et al. // Iron and Steel Technology. – 2009. – № 10. 47–58.
61. Blejde W., Mahapatra R., Fukase H. Iron and Steelmaker, vol. 27.4.2000.p.29
62. Eurostrip-Twin rool strip casting for stainless and carbon steel grades. A status report. VATECH. February. 200145.
63. Загиров Н.Н. Теоретические основы пластической деформации: Учеб. пособие. Красноярск: ГАЦМиЗ, 1998. 120 с.
64. Blejde W., Mahapatra R., Fukase H. Iron and Steelmaker, vol. 27.4.2000.p.29
65. Eurostrip-Twin rool strip casting for stainless and carbon steel grades. A status report. VATECH. February. 200145.
66. . Исследование и разработка системы быстрой замены погружных стаканов при непрерывной разливке стали / С.П. Еронько, Е.В. Ошовская, Д.А. Яковлев и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность.–2009. –№4. – С. 105-108.
67. Еронько С.П. Разработка отечественного конкурентоспособного оборудования для дозированного перелива стали // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2010. – №2. – С. 180-185.
68. Стакан 4. Белов В.И., Белов В.Т. Закономерности распространения- газовой струи в жидкости. //Изв. вузов. Черная металлургия. 1983. №4. с. 90 — 92
69. Стакан 5. Белоцерковский О.М. Вычислительный эксперимент: прямое численное моделирование сложных течений газовой динамики на основе уравнений Эйлера, Навье-Стокса и Больцмана. // Численные методы в динамике жидкостей. М.-Мир.- 1981. - с.348-398.
70. Стакан 6. Ботвинский В.Я., Потапов А.В. Гидродинамика расплавов в ковше при продувке его нейтральным газом // Гидроаэромеханика и теория упругости-1980.-№26-с. 78-82.
71. W.Bald, G. Kerpe, D. Rosental. Steel Times Int. 2000.9.p. 16-19
72. Thin gauge hot strip. Steel Times Int. 2000.7.p. 30-34
73. Степанов А.Н., Зильберг Ю.В., Неуструев А.А. Производство листа из расплава. М.: Металлургия, 1978. 160 с.
74. US Patent 2007/0102852 A1 Multi-Outlet Casting Nozzle / Johan L. Richaud, Lawrence J. Heaslip, James Dorricott, Dong XU; Assignee Vesuvius Crucible Company; Appl. No. 10/579,858; Filed May. 17.2006; Date of Patent May. 10.2007
75. New generation ladle slide gate system for performance improvement / J. Chaudhuri, G. Choudhury, S. Kumar, V. Rajgopalan // MPT International. – 2007. – Vol.30, №6. – pp. 38- 42.
76. Mutsaarts P. Submerged entry nozzle exchange system for tundishes / Millennium Steel. – 2006. –pp. 143-146.

77. Баптизманский В.И., Величко А.Г., Шибко А.В. Фурмы и пористые вставки ковшевой металлургии. // Черная металлургия. Бюллетень ЦНИИИ и ТЭИ ЧМ. 1989. - Вып. 2 (1068). - с. 75-79.
78. Achieving higher performance & longer service life of Slide Plate / J. Chaudhuri, G. Choudhury, S. Kumar et. al. // Iron & Steel Review. – 2007. – June. – pp. 86-91.
79. Еронько С.П., Сотников А.Л., Ткачев М.Ю. Совершенствование системы быстрой смены погружных стаканов для серийной разливки стали на слэбовых МНЛЗ // Металлургические процессы и оборудование. – 2012. – №3. – С. 26-38.
80. Разработка эффективных разливочных систем промежуточных ковшей МНЛЗ / С.П. Еронько, Д.А. Яковлев, И.А. Орлов и др. // Металлургические процессы и оборудование. – 2009. – №2. – С. 39-48.
81. Исследование и разработка системы быстрой замены погружных стаканов при непрерывной разливке стали / С.П. Еронько, Е.В. Ошовская, Д.А. Яковлев и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2009. – №4. – С. 105-108.
82. Совершенствование разливочных систем промежуточных ковшей МНЛЗ / С.П. Еронько, А.Ю. Цупрун, К.В. Дубойский и др. // Электрометаллургия. – 2009. – №7. – С. 37-43.
83. B. G. Thomas, "Modelling of Continuous Casting Defects Related to the Mold Fluid Flow, 3rd Internat. Congress on Science & Technology of Steelmaking, Charlotte, NC, May 9-12, AIST, Warrendale, PA, 2005, pp. 847-861
84. Ю.И. Абальян, В.Ф. Клестов, О.А. Еремина, А.В. Малюков, А.Б. Ламин, В.Я. Осадчий, В.Д. Дмитриев. Особенности нового трубоэлектросварочного агрегата ТЭСА 16-60 Московского трубного завода «Филит». //Бюллетень «Черная металлургия», №55 2005. С. 41-45.
87. Tkachenko A., Isaenko F., Kirijakov V. etc. Immersion Multi-Element Inclined Combined Transducer for the Control of Welded Seams of Big Diameter Pipes during the Manufacture. Report//10th European Conference on NonDestructive Testing: Reports. Rep. 1.11.14. M.: Publishing house Spektr, 2010. [CD],
88. Самусев С.В., Поклонов Г.Г., Свидовский Ф.Г., А.В., Логинов Е.В. Совершенствование технологии электросварных труб. Ж. «Сталь», №7, 2009, с.55-58.
89. Ельцов В.В., Олейник И.А., Матягин В.Ф. Ремонт изделий из легких сплавов трехфазной аргонодуговой сваркой. //Тез. Докл. 4-ой Всесоюзной Конференции - Киев.: -1990- с.24
90. Труханов К.Ю., Царьков А.В. Исследование влияния формы сварочной ванны на опасность возникновения горячих трещин // Сварка и диагностика. 2014. №1. С. 27-31. (0,5 п.л./0,3 п.л.)
91. Труханов К.Ю., Царьков А.В. Кривизна поверхности сварочной ванны как критерий опасности возникновения кристаллизационных трещин (Часть 1) // Сварка и диагностика. 2011. № 6. С. 20-25.

92. Energy Balance of the Linear Friction Welding Process / R. Nikiforov [et al.] // Journal of Engineering Science and Technology. 2012. Vol.5 (3). P. 20-24.
93. Tkachenko A., Isaenko F., Kirijakov V. etc. Immersion Multi-Element Inclined Combined Transducer for the Control of Welded Seams of Big Diameter Pipes during the Manufacture. Report//10th European Conference on NonDestructive Testing: Reports. Rep. 1.11.14. M.: Publishing house Spektr, 2010. [CD]
94. Атрощенко В.В., Никифоров Р.В. Исследование формирования сварных швов при аргонодуговой сварке и разработка математических моделей для управления сварочным оборудованием // Мавлютовские чтения: Всероссийская молодежная научная конференция: сборник трудов. Уфа, 2010. Т.2. С.142-145.
95. Патент РФ № 2015755, Способ холодного редуцирования сварных трубных изделий. Свидовский Ф.Г., Самусев С.В., Воронин Л.М., Коробов С. А. Опубл. в Б. И., №13, 2004.354
96. А.с. № 1748373 /Способ холодного редуцирования сварных труб. Самусев С.В., Свидовский Ф.Г., Казаков А.Р., Потапов И.В., Певчев Э.В., Коробов С.А. -Опубл. в Б.И., №26, 1992.
97. В.А. Авдеев, Б.И. Кудрин. Металлургический завод и его системный анализ для проектирования. М.:Гипромез. 1992 -104с.
98. Проектирование и и инжиниринг в черной металлургии(1926-1996)/ В.А. Авдеев, Е.П. Караваев, О.И. Шайновичи др.- М.металлургия, 1996. _160с.
99. Тимошпольский В.И. Трусова И.А., Современные подходы при проектировании и строительстве металлургических заводов последнего поколения. "Литье и металлы" 4(63), 2011.
100. Ширяев П.А. Основы технико-экономического проектирования металлургических заводов. – М.: Металлургия. 1980. – 374 с.
101. Экономика, организация и планирование на предприятиях черной металлургии/Б.П.Бельгольский , Т.Г. Бень, Е.П. Зайцев и др. – М.: Металлургия 1982. – 416с.
102. Любанова, А. Ш. Методы оптимизации [Текст] / А. Ш. Любанова; ГАЦМиЗ. Красноярск, 2002. 80 с. 2. Реклейтис, Г. Оптимизация в технике [Текст]: в 2 кн. / Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Рэгсдел; пер. с англ.М.:Мир, 1986. Кн. 1. 352 с.; Кн. 2. 320 с.
103. Campbell P., et al. 59th. Electrical Furnace Conf. Proceedings. Phoenix. USA. 2001. P. 727-735
104. Гладких В.А., Гасик М.И., Овчарук А.И., Пройдак Ю.С. Проектирование и оборудование электросталеплавильных и ферросплавных цехов. Днепропетровск "Системные технологии" - 2004.
105. Авдеев В.А., Друян В.М., Кудрин Б.И. Основы проектирования металлургических заводов. Справочное издание. - М: Интермет Инжиниринг, 2002. - 464 с: ил. - ISBN 5-89594-071-4.
106. Николаева С.А. Принципы формирования и калькулирования себестоимости. –М.: Аналитика-Пресс, 2002.

107. Костин И.И. Генеральный план и транспорт промышленных предприятий. – М.: Стройиздат 1981.-192с. Сварка
108. Николаева С.А. Особенности учета затрат в условиях рынка: система «директ-костинг». –М.: Финансы и статистика, 1998.
109. Палий В.Ф. Основы калькулирования.– М.: Финансы и статистика, 1999.
110. Рахман З., Шеремет А.Д. Бухгалтерский учет в рыночной экономике. –М.: ИНФРА-М, 1999.
111. А.Я.Стомахин, В.И.Галкин. Альтернативы металлолomu есть. Выбор с помощью экономического расчета // Электрометаллургия №7, 2008, с.34-37.
112. Schubert M. Recent developments in the field of electric arc furnaces// METEC'89. 3rd International Exhibition for Metallurgical Tehnology. Dusseldorf. 20-26.05.1989.
113. Основные направления проектирования предприятий черной металлургии на период 1991-2000 гг. – М.: Гипромез, 1990. -302с. Костенецкий К.П. Развитие транспорта в металлургии. –М: Металлургиздат, 1969, -332с.
114. Int. Steel Conference, ISC 2002, June 25-26, 2002.
115. T. Bagsuriun New Steel. 1998. December
116. R. Barret Metal Bulletin Monthly. 1999. June. P. 10
117. Da News Danieli Group, n. 128. Dec. 2001.p.4
118. Рахман З., Шеремет А.Д. Бухгалтерский учет в рыночной экономике. –М.: ИНФРА-М, 1999.
119. New generation ladle slide gate system for performance improvement / J. Chaudhuri, G. Choudhury, S. Kumar, V. Rajgopalan // MPT International. – 2007. – Vol.30, №6. – pp. 38- 42.
120. Achieving higher performace& longer service life of Slide Plate / J. Chaudhuri, G. Choudhury, S. Kumar et. al. // Iron & Steel Review. – 2007. June.– pp. 86-91.
121. B. G. Thomas, “Modelling of Continuous Casting Defects Related to the Mold Fluid Flow, 3rd Internat. Congress on Science & Technology of Steelmaking, Charlotte, NC, May 9-12.
122. New generation ladle slide gate system for performance improvement / J. Chaudhuri, G. Choudhury, S. Kumar, V. Rajgopalan // MPT International. – 2007. – Vol.30, №6. – pp. 38- 42. Mutsaerts P. Submerged entry nozzle exchange system for tundishes / Millennium Steel. – 2006. –pp. 143-146.
123. Achieving higher performace& longer service life of Slide Plate / J. Chaudhuri, G. Choudhury, S. Kumar et. al. // Iron & Steel Review. – 2007. – June. – pp. 86-91.
124. B. G. Thomas, “Modelling of Continuous Casting Defects Related to the Mold Fluid Flow, 3rd Internat. Congress on Science & Technology of Steelmaking, Charlotte, NC, May 9-12, AIST, Warrendale, PA, 2005, pp. 847-861
125. Сватовская, Т.С. Титова, Е.В. Русанова // Экология и промышленность России, №10, 2005, 20-21 с.

126. Воздействие на окружающую среду и пути утилизации [Текст] / Л.И. Леонов, Ю.С. Юсфин, П.И. Черноусов. // Экология и промышленность России, 2003, №3, с. 32-35.
127. Юсфин, Ю.С. Ресурсно-экологическая оценка агломерационного производства / Ю.С. Юсфин, П.И. Черноусов, С.В. Неделин // Сталь, №4, 2001, 1-5 с.
128. Торп, Б. Путеводитель по экологически чистому производству [Электронный ресурс] // экологический журнал «Волна», №29, 2001.
130. Баев, Л.А. Экономические основы управления переработкой отходов металлургического производства [Текст] / Л.А. Баев, Я.В. Афанасьев. // Экология и промышленность России, 2004, №1, с.37-40.
131. Глухов, В.В. Экономические основы экологии. 3-е изд. [Текст] / В.В. Глухов, Т.П. Некрасова. – СПб.: Питер, 2003. – 384 с.
132. Гарин, В.М. Экология для технических вузов [Текст] / В.М. Гарин, И.А. Клёнова, В.И. Колесников. / под ред. В.М. Гарина. - Ростов н/Дону: Феникс, 2003. – 384 с.
133. Халаимова, И.В. Снижение пылевых выбросов при производстве кокса [Текст] / И.В. Халаимова, В.В. Кочура // Материалы XXI Всеукраинской научной конференции аспирантов и студентов «Охрана окружающей природной среды и рациональное использование природных ресурсов». Т.2 – Донецк, ДонНУ, 2010. 168-169.
134. H.U. Lindenbergu.a. Stahl und Eisen, 121 (2001) 12.p. 97-104