

სამოქალაქო მშენებლობა და სამშენებლო დაპროექტება

ამწის გაცვეთილი გოგორათვლის დადუღებით აღდგენის შესაძლებლობის კვლევა

პარმენ ყიფიანი

parmen.kipiani@atsu.edu.ge

თევდორე ფხაკაძე

სვეტლანა მინდაძე

დავით თიგიშვილი

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ქუთაისი, საქართველო

DOI: <https://doi.org/10.52340/atsu.2024.2.24.12>

ნაშრომში განხილულია ამწის გაცვეთილი გოგორათვლის დადუღებით აღდგენის შესაძლებლობის კვლევა, შედეგების სხვადასხვა ხერხი და მეთოდი, რომლებიც შეიძლება გამოყენებული იქნას აღდგენის პროცესში. განხილულია ძირითადი ლითონის ტოლფასი უდეფექტო შენადული შეერთების მიღების გზები. ისეთი საშემდგომო მასალების შერჩევა და გამოყენება, რომლებიც საშუალებას მოგვცემს ისეთი ზედაპირის მიღებისა, რომლის ცვეთამდეგობა ახალი გოგორათვლის ცვეთამდეგობაზე უკეთესი იქნება.

**საკვანძო სიტყვები:** შედუღება, დადუღება, შენადული შეერთება, საშემდგომო მასალები, ცვეთამდეგობა.

სამშენებლო მოედანზე, სამშენებლო მასალების დამამზადებელ საწარმოებში და სხვა საწარმოებში გამოყენებულ ტექნიკას მუშაობა უზღვევს მძიმე პირობებში. ცვეთაზე მომუშავე დეტალების წყვილებს, სხვა მოქმედ ფაქტორებთან ერთად, მუშაობა უწევს აბრაზიული ცვეთის პირობებში. ერთ-ერთი ასეთი ცვეთაზე მომუშავე წყვილია ამწის გოგორათვლი და რელსი.

დღევანდელ პირობებში სულ უფრო აქტუალური ხდება მშენებლობის სფეროში გამოყენებული ტექნიკის გაცვეთილი დეტალების აღდგენა სხვადასხვა ხერხით. ხშირ შემთხვევაში აღდგენის ერთ-ერთი მთავარი პირობაა ისეთი ზედაპირის მიღება, რომლის ცვეთამდეგობა ახალი გოგორათვლის ცვეთამდეგობაზე უკეთესი იქნება და აღდგენილ ზედაპირს არ ექნება დეფექტები.

საქართველოში, ექსპლუატაციაში მყოფი ამწეები შემოტანილია საზღვარგარეთიდან და სიტუაციას ისიც ართულებს, რომ თითქმის ყველა ამწის მწარმოებელი ქარხანა პროდუქციას აწარმოებს საკუთარი ტექნიკური პირობების მიხედვით და ამის გამო არ არსებობს ამწეების კვანძების და

დეტალების უნიფიკაცია. ამწეების გოგორათვლები იწარმოება სხვადასხვა დიამეტრის და დამზადებულია სხვადასხვა მასალებისაგან, როგორც საშუალონახშირბადოვანი, ისე მაღალნახშირბადოვანი ფოლადებისაგან.

ექსპლუატაციაში მყოფი ამწის გოგორათვლების დატვირთვისას რელსების პირაპირების, ჯვარედინების და არათანაბარ ზედაპირის გავლის დროს წარმოიქმნება პერიოდული ნახტომისებრი ამპლიტუდული დამაბულობა. აღნიშნულზე მოქმედებს ასევე გოგორათვლის გორვის ზედაპირის არათანაბრობა. გარდა ამისა, გოგორათვლის ზედაპირების გახურება და სწრაფი გაცივება კონტაქტის ზონიდან გამოსვლისას იწვევს ლითონის სტრუქტურის ცვლილებებს. წარმოქმნილი ნორმალური და მხები ძაბვები, ტემპერატურული დატვირთვა, გოგორათვლის გორვის ზედაპირზე მიმდინარე სტრუქტურული გარდაქმნები იწვევენ გოგორათვლის ცვეთას, პლასტიკურ დეფორმაციას და სხვადასხვა სახის დეფექტების წარმოქმნას (ნახ.1).



**ნახ.1. ამწის გოგორათვალი დეფექტებით.**

ყველა ორგანიზაციას ამწეების ექსპლუატაციის პროცესში თვითონ უწევს სათანადო ნაწილებით მომარაგების პრობლემის გადაწყვეტა და ძირითადად მათი გადაწყვეტა ხდება გაცვეთილი დეტალების ზედაპირების დადუღებით აღდგენის გზით.

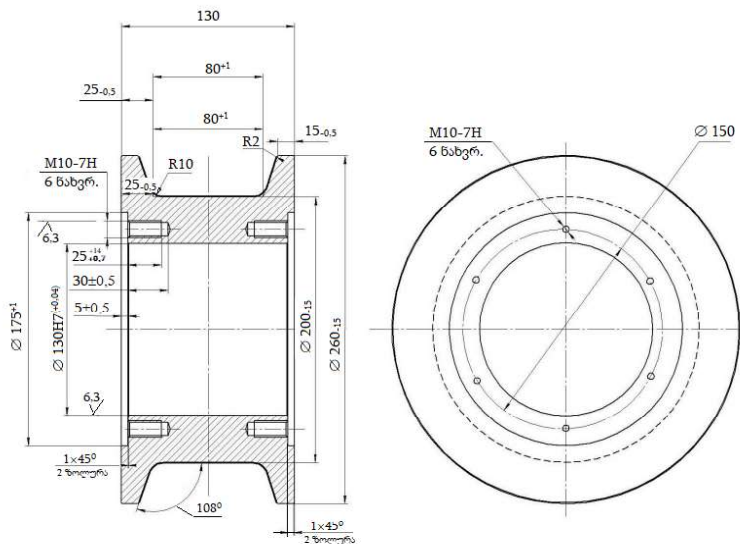
დადუღება ითვლება გაცვეთილი დეტალების აღდგენის ერთ-ერთ ეფექტურ და ეკონომიკურად მომგებიან ხერხად (Лозинский 2002: 31-40). აღდგენისას ხშირად ხდება სხვადასხვა ქიმიური შედგენილობის მასალების შეერთება, რომელთაგან, როგორც წესი ერთ-ერთი ცუდი შედუღებადობით ხასიათდება და აქვს დაბალი წინააღმდეგობა ბზარების წარმოქმნის

### პ. ყიფიანი, თ. ფხაკაძე, ს. მინდაძე, დ. თიგიშვილი

მიმართ. როგორც საშუალონახშირბადოვანი, ისე მაღალნახშირბადოვანი ფოლადები ხასიათდებიან დაბალი წინააღმდეგობით ბზარების წარმოქმნის მიმართ. ამ პრობლემის გადასაწყვეტად ხშირად იყენებენ ალსადგენი დეტალების წინასწარ და თანმხლებ გახურებას და ამასთანავე, დადულების დამთავრების შემდეგ აუცილებელია გაცივების სიჩქარის შემცირების უზრუნველყოფა, რაც მნიშვნელოვნად ზრდის მატერიალურ და ენერგოდანახარჯებს და დადულებით ალდგენის ეფექტურობას. ამასთანავე, გაცვეთილი დეტალების დადულებით ალდგენისას დეტალებზე დატანილი ლითონის მასა მისი მასის 6%-ს არ აღემატება, რაც განაპირობებს ლითონის ხარჯს, რომელიც რამდენჯერმე ნაკლებია, ვიდრე ახალი დეტალების დამზადების შემთხვევაში და ის შეადგენს 4-25%-ს ახალი დეტალების ხარჯისა.

დადულებით ალდგენილი ამწის გოგორათვლების ეფექტურობა და საიმედოობა მრავალ ფაქტორზეა დამოკიდებული: ექსპლუატაციის პირობებზე, ძირითადი და საშემდულებლო მასალების ქიმიურ შედგენილობაზე და მექანიკურ თვისებებზე, გოგორათვლის ზომაზე, შედულების რეჟიმებზე, თერმულ დამუშავებაზე, შედულების ხერხებსა და მეთოდებზე და სხვა, ანუ დადულების ოპტიმალური ტექნოლოგიის დამუშავებაზე (Кипиани 2002: 46-51).

გოგორათვლის დადულებით ალდგენის სამუშაო ჩატარებულ იქნა ფოლადი 45-დან (ცხრ.1,2) დამზადებულ გოგორათვალზე დიამეტრით 260 მმ (ნახ.2), წინასწარი გახურებით და შედულების შემდგომი ნელი გაცივებით.



ნახ. 2. დასადულებელი გოგორათვლის გეომეტრიული ზომები.

**ცხრილი 1. ფოლადი 45-ის ქიმიური შედგენილობა, %**

C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	P	S
0,42 - 0,5	0,17 - 0,37	0,5 - 0,8	< 0,25	< 0,30	< 0,30	< 0,03	< 0,035

**ცხრილი 2. ფოლადი 45-ის მექანიკური თვისებები**

დენადობის ზღვარი, $\sigma_{0,2}$ , მპა	დროებითი წინააღმდეგობა გაგლეჯის მიმართ, $\sigma_B$ , მპა	ფარდობითი წაგრძელება გაგლეჯისას, $\delta_5$ , %	ფარდობითი შევიწროება, $\psi$ , %
> 355	> 600	> 16	> 40

სამწუხაროდ, საქართველოში არსებული საწარმოების დიდი ნაწილი საშემდუღებლო მოწყობილობის მცირე არჩევანით ხასიათდება, ამიტომ სამუშაოს საწყის ეტაპზე გაანალიზებული იყო შედუღების ის ხერხები და მეთოდები, რომელთა შესაბამისი მოწყობილობა არსებობს და შეიძლება მათი გამოყენება ამწის გოგორათვლის დადუღებით აღდგენისათვის.

სამუშაოს ექსპერიმენტული ნაწილი ჩატარებულ იქნა აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის შედუღების ლაბორატორიებში.

**ხელით ელექტრორკალური შედუღება.** როგორც დაკვირვებამ გვაჩვენა, ხელით ელექტრორკალური შედუღება ყველაზე მისაღები საშუალებაა გაცვეთილი გოგორათვლის დადუღებით აღსადგენათ, მოწყობილობის სიმარტივის გათვალისწინებით. თუმცა დადუღებული ლითონის ფორმირება და უდეფექტო შენადული შეერთების მიღება მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული შემდუღებლის კვალიფიკაციაზე. გარდა ამისა, საშემდუღებლო მასალის ხარჯი მნიშვნელოვანია ელექტროდის ხშირი შეცვლის და „კრატერების“ წარმოქმნის თავიდან აცილების გამო. დადუღებული ლითონის არათანაბარი ზედაპირის გამო შედუღების შემდგომი მექანიკური დამუშავებაც სახარატო ჩარხზე გარკვეულ სიმწიფეებთანაა დაკავშირებული. მართალია, შედუღების აბაზანის წიდური დაცვა კარგად ხორციელდება, მაგრამ ზოგიერთი ადგილის დადუღებულ ლითონში ადგილი ჰქონდა წიდური ჩანართების არსებობას. შეიძლება ითქვას, რომ შედუღების ამ ხერხით შეიძლება გაცვეთილი გოგორათვლების აღდგენა, თუმცა გარკვეულ სირთულეებთანაა დაკავშირებული და მწარმოებლურობაც დაბალია.

**დამცავ აირებში ნახევრად ავტომატური შედუღება.** შედუღების ამ ხერხისა და მეთოდის გამოყენებამ საშუალება მოგვცა უკეთესი ხარისხის დადუღებული ლითონი მიგვეღო, გაგვეზარდა მწარმოებლურობა ხელით ელექტრორკალურ შედუღებასთან შედარებით და ზოგიერთი საშემდუღებლო მასალის (მაგალითად, აუსტენიტური კლასის)

**პ. ყიფიანი, თ. ფხაკაძე, ს. მინდაძე, დ. თიგიშვილი**

გამოყენების შემთხვევაში უარი გვეთქვა წინასწარ გახურებაზე და შედუღების შემდგომი ნელი გაცივების აუცილებლობაზე. თუმცა, დადუღებული ლითონის ფორმირება და უდეფექტო შენადული შეერთების მიღება, როგორც ვთქვით, მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული შემდუღებლის კვალიფიკაციაზე.

სამუშაოები ჩატარებულ იქნა საშემდუღებლო ნახევრად ავტომატის LF24M-ის და კვების წყარო 425S-ის დახმარებით. ექსპერიმენტი ჩატარდა CB-10XTCMΦ და CB-08X20H9Γ7T საშემდუღებლო მავთულების გამოყენებით, შემდეგ რეჟიმებზე:  $I_{უღ}$  - 150-170 ა;  $U_{რკ}$  - 22-24 ვ;  $d_{უღ}$  - 1,4 მმ.

CB-10XTCMΦ საშემდუღებლო მავთულების გამოყენებამ გვაჩვენა, რომ უდეფექტო შენადული შეერთების მისაღებად აუცილებელია გაცვეთილი გოგორათვლის წინასწარ გახურება 150°C-მდე. შედუღების დაწყების მომენტში ტემპერატურა არ უნდა იყოს 100°C-ზე ნაკლები. ხოლო შედუღების შემდგომ ნელი გაცივების უზრუნველსაყოფად გოგორათვალს ვათავსებდით ლითონის ფურცლებისაგან დამზადებულ თერმოსტატში, რომელიც წინასწარ ხურდებოდა. CB-08X20H9Γ7T (ცხრილი 3) აუსტენიტური კლასის საშემდუღებლო მავთულის გამოყენებამ გვაჩვენა, რომ უდეფექტო შენადული შეერთების მისაღებად არაა აუცილებელი გოგორათვლის წინასწარ გახურება და შედუღების შემდგომი ნელი გაცივება. თუმცა, დადუღებული ლითონის სისალის შემოწმებამ გვაჩვენა, რომ აუსტენიტური კლასის მავთულით დადუღებისას ეს მაჩვენებელი 70-80HV-თი ნაკლებია, ვიდრე CB-10XTCMΦ პერლიტური კლასის მავთულით დადუღების შემთხვევაში, ეს კი მნიშვნელოვნად ამცირებს აღდგენილი გოგორათვლის ცვეთამდეგობას. გარდა ამისა, CB-08X20H9Γ7T აუსტენიტური კლასის საშემდუღებლო მავთულის ღირებულება რამდენჯერმე მეტია, ვიდრე CB-10XTCMΦ საშემდუღებლო მავთულის.

**ცხრილი 3**

მავთული	ელემენტების შემცველობა, %										
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Mo	V	Ca	S	P
CB-08X20H9Γ7T	max 0,10	0,50-1,00	5,0-8,0	18,5-22,0	8,0-10,0	0,60-0,90	-	-	-	<0,025	<0,030
CB-08XM	0,06-0,09	0,12-0,25	0,35-0,55	0,92-1,15	-	-	0,50-0,65	-	-	<0,025	<0,030
CB-08Γ2C	0,06-0,11	0,70-0,95	1,80-2,10	-	-	-	-	-	-	<0,025	<0,030
CB-10XTCMΦ	0,06-0,10	0,4-0,7	1,5-1,8	0,9-1,2	-	-	0,5-0,7	0,2-0,35	<0,05	<0,025	<0,030

**ფლუსის საფარში შედუღება.** ფლუსის საფარში ავტომატური შედუღების გამოყენებამ გაცილებით უკეთესი დადუღებული ლითონის მიღების საშუალება მოგვცა. დადუღებული ლილვაკების ფორმირება გაცილებით უკეთესია, ვიდრე წინა ორ შემთხვევაში (ნახ.3).



ა

ბ

გ

**ნახ.3. დადუღებით აღდგენილი გოგორათვალი: ა-დასადუღებელი გოგორათვალი; ბ-ფლუსის საფარში დადუღების შემდეგ; გ-მექანიკური დამუშავების შემდეგ.**

გაიზარდა მწარმოებლურობა და ზოგიერთი საშემდუღებლო მავთულის გამოყენების შემთხვევაში მაღალ სიმტკიცესა და სისალესთან ერთად ადგილი ჰქონდა უდეფექტო შენადული შეერთების მიღებას. შედუღების დაწყების წინ გოგორათვალს ვახურებდით  $150^{\circ}\text{C}$ -მდე და შედუღების დამთავრების შემდეგ ვაცივებდით ნელა თერმოსტატის დახმარებით.

შედუღებას ვაწარმოებდით საშემდუღებლო ავტომატით АДФ-1202 და შედუღების კვების წყაროთი БДУ-601. გოგორათვლის საჭირო სიჩქარით ბრუნვისათვის (შედუღების სიჩქარე) ვიყენებდით სასწავლო სახარატო ჩარხს, რომელზედაც სპეციალური ღერძის საშუალებით ვამაგრებდით აღსადგენ გოგორათვალს.

შედუღებას ვაწარმოებდით АН348А ფლუსში СВ-08Г2С, СВ-08ХМ და СВ-08ХГ2СМФ მშმ დიამეტრის მავთულის დახმარებით შემდეგ რეჟიმებზე:  $I_{\text{შედ}} - 250-260 \text{ ა}; U_{\text{რკ}} - 24-26 \text{ ვ}; V_{\text{შედ}} - 30 \text{ მ/სთ.}$

СВ-08Г2С მავთულით დადუღებისას დეფექტები ბზარების სახით დადუღებულ ლითონში არ შეინიშნებოდა. მაგრამ, დადუღებული ლითონის სისალე 180-210HV ერთეულს არ აღემატებოდა. СВ-08ХМ მავთულით დადუღებისას (როგორც გორვის ზედაპირზე, ისე ქიმებზე) დადუღებულ ლითონში შეინიშნებოდა ცხელი ბზარები, უმეტესად გორვის ზედაპირიდან ქიმზე გადასვლის ზონაში, სადაც დეფორმაციის სიდიდე მასალის პლასტიკურობაზე მეტია. დადუღებული ლითონის სისალე - 220-250HV ფარგლებშია.

СВ-08ХГ2СМФ საშემდუღებლო მავთულით დადუღებულ ლითონში ზოგიერთ შემთხვევაში შეინიშნებოდა ცალკეული ცხელი ბზარები გორვის ზედაპირიდან ქიმზე გადასვლის ზონაში. დადუღებული ლითონის სისალე - 260-290HV ერთეულია.

ამოჭრილი ნიმუშების შედარებამ გვაჩვენა, რომ დეფექტები СВ-08Г2С

### პ. ყიფიანი, თ. ფხაკაძე, ს. მინდაძე, დ. თიგიშვილი

---

მავთულით დადუღებულ ლითონში თითქმის არაა, თუმცა სისაღე საკმაოდ დაბალია და სავარაუდოდ ცვეთამედეგობაც. СБ-08ХГ2СМΦ მავთულით დადუღებულ ლითონში დეფექტები მცირე რაოდენობითაა, სისაღე ყველაზე მეტია და დადუღების ტექნოლოგიის კორექტირების და დაზუსტების შემთხვევაში დადუღებულ ლითონში დეფექტების აღმოფხვრა შესაძლებელია. СБ-08ХМ მავთულით დადუღებულ ლითონში ბზარის ტიპის დეფექტები აღმოჩნდა როგორც გორვის ზედაპირზე, ისე ქიმიკზე.

სხვადასხვა მავთულით დადუღებულ ლითონში ბზარის ტიპის დეფექტების არსებობა შემოწმებული იქნა ულტრაბგერითი ხარისხის კონტროლის დანადგარით, ხოლო ცვეთამედეგობა დადგენილი იყო დადუღებული ლითონის **სისაღის განსაზღვრისა** და აღდგენილი გოგორათვლების რეალურ პირობებში ცვეთაზე გამოცდის შედეგად.

მიღებული შედეგების ანალიზი გვამღევს შემდეგი დასკვნის გაკეთების საშუალებას:

- შედუღების სამივე ხერხი შეიძლება გამოყენებული იქნას გაცვეთილი გოგორათვლების აღსადგენად;
- დადუღებული ლითონის ფორმირების და ეკონომიურობის თვალსაზრისით, უკეთეს შედეგს იძლევა ფლუსის საფარში ავტომატური შედუღება;
- დადუღებით აღდგენილი ზედაპირის ცვეთამედეგობა და შენადული შეერთების დეფექტების წარმოქმნის მიმართ წინააღმდეგობის მიხედვით საუკეთესო შედეგს იძლევა СБ-08ХГ2СМΦ მავთული და АН348А ფლუსის საფარში დადუღებული ლითონი.

### ლიტერატურა

- Fundamentals of Hardfacing by arc welding. A guide to choosing the right hardfacing solution.* Written by: Bastien, Gerard. Welding Alloys Group 2022. Englend. [https://www.welding-alloys.com/wp-content/uploads/2021/12/Fundamentals\\_of\\_hardfacing\\_A5.pdf](https://www.welding-alloys.com/wp-content/uploads/2021/12/Fundamentals_of_hardfacing_A5.pdf)
- Лозинский, В. Н. 1998. *Ресурсосберегающие сварочные технологии на железнодорожном транспорте.* Москва.
- Кипиани, П.Н. Котляров, А.Н. 2002. „Влияние технологических факторов на качество наплавленного металла при восстановлении гребней вагонных колес“. *Ресурсосберегающие технологии восстановления железнодорожной техники сваркой, наплавкой и напылением.* Москва.

## Civil and Structural Engineering

### Investigation of the possibility of restoring worn-out crane wheels by surfacing

**Parmen Kipiani**

parmen.kipiani@atsu.edu.ge

**Tevdore Pkhakadze**

**Svetlana Mindadze**

**David Tigishvili**

Akaki Tsereteli State University

Kutaisi, Georgia

DOI: <https://doi.org/10.52340/atsu.2024.2.24.12>

*The paper deals with the study of the possibility of restoration by surfacing the worn wheel pairs of cranes and various welding methods and techniques that can be applied in the process of restoration. The ways of obtaining defect-free welded joints equal to the base metal are considered. Selection and use of welding materials that will allow to obtain surfaces with better wear resistance than that of the new wheelsets.*

**Keywords:** *welding; surfacing; welded joint; welding materials; wear resistance.*

Equipment used on construction sites, construction materials manufacturing, and other enterprises works often under harsh conditions. Pairs of parts working for attrition, together with other active factors, have to work under abrasion conditions. One of such abrasion pairs is the pair of wheel and rail.

Currently, the restoration of worn-out parts of used equipment in various ways is becoming increasingly relevant in the construction industry. Often, one of the main conditions of restoration is to obtain such a surface, the wear resistance of which will be better than that of a new wheel, and there will be no defects on the restored surface.

The cranes that are in operation in Georgia are imported from abroad, and the situation is complicated by the fact that almost all factories manufacturing cranes, their products are manufactured in accordance with their own specifications, and, therefore, there is no unification of assemblies and parts of cranes. Crane wheels are manufactured in various diameters and materials, from both medium carbon and high carbon steels.

During the loading of in-service crane wheels, periodic abrupt amplitude stresses occur when passing rail joints, crosses, and irregular surfaces. This is also affected by the irregularity of the thread area of the wheelset. In addition, heating



and rapid cooling of the wheel surfaces when they leave the contact zone, cause changes in the structure of the metal. The arising normal and tangential stresses, temperature load, and structural transformations occurring in the thread area of wheels cause their abrasion, plastic deformation, and the formation of various defects.

When operating cranes, each organization itself has to solve the problem of providing them with spare parts, and mainly this problem is solved by surfacing worn parts.

Surfacing is considered to be one of the most efficient and cost-effective ways to restore worn parts (Lozinski 2002: 31-40). During restoration, materials of different compositions are often combined, of which, as a rule, one is characterized by poor weldability and low crack resistance. Both medium-carbon and high-carbon steels are characterized by low crack resistance. To solve this problem, preheating and accompanying heating of the parts to be restored is often used. After the surfacing is completed, it is necessary to ensure a reduction in cooling rate, which significantly increases material costs, power consumption, and the efficiency of the surfacing. At the same time, when restoring worn parts by surfacing, the metal mass applied to the parts does not exceed 6%, which causes several times less metal consumption than when manufacturing new parts, and it is 4-25% of the consumption for new parts.

The efficiency and reliability of the wheels of cranes restored by surfacing depend on many factors: operating conditions, chemical composition and mechanical properties of base and welding materials, wheel dimensions, welding modes, heat treatment, welding methods and techniques, etc., that is, on the development of optimal surfacing technology (Kipiani 2002: 46-51).

We have carried out wheel restoration works on wheels made of steel 45 with a diameter of 260 mm, with preheating and slow cooling after welding.

Unfortunately, most of the existing enterprises in Georgia are characterized by little choice in terms of welding equipment, so at the initial stage of the work, we analyzed those welding methods and techniques for which appropriate equipment already exists, and there is a possibility of their use for the restoration of wheels by surfacing.

The experimental part of the work was carried out in the welding laboratories of the Akaki Tsereteli State University.

**Manual arc welding.** As shown by observation, manual electric arc welding is the most suitable means for surfacing worn wheels, given the simplicity of the equipment. Although, the formation of weld metal and obtaining a defect-free welded joint depend largely on welder's qualification. In addition, the

consumption of welding material is significant due to frequent adjustment of the electrode and the desire to avoid the formation of “craters”. Due to the uneven surface of weld metal, post-weld machining on the lathe is associated with certain difficulties. Although the slag protection of the weld pool is done well, there were slag inclusions in some places of weld metal. It can be said that it is possible to restore worn wheelsets by this welding method, although there are some difficulties and productivity is also low.

**Semi-automatic welding in an atmosphere of shielding gases.** The use of this technique and welding method allowed to obtain a better quality of weld metal, to increase productivity in comparison with the method of manual electric arc welding, and, when using some welding materials (e.g., of an austenitic class), to eliminate the need for preheating and the need for slow post-weld cooling. Although, the formation of weld metal and obtaining a defect-free welded joint, as noted above, largely depend on welder’s qualification.

The works were performed with the help of a welding semi-automatic machine LF24M and a power source 425S. The experiment was conducted using welding wires  $CB-10XTCM\Phi$  and  $CB-08X20H9T7T$  on the following modes:  $I_w$  - 150-170 A;  $U_p$  - 22-24 V;  $d_{el}$  - 1,4 mm.

The use of welding wire  $CB-10XTCM\Phi$  showed that in order to obtain a defect-free welded joint, it is necessary to preheat the worn wheels up to 150 °C. At the moment of welding start, the temperature should not be lower than 100 °C. To ensure slow post-weld cooling, the wheel was placed in a sheet metal fabricated thermostat, which was preheated.

The use of austenitic grade  $CB-08X20H9T7T$  welding wire showed that to obtain a defect-free welded joint, there is no need for preheating of the wheel and slow post-weld cooling. Although, inspection of the hardness of weld metal showed that when surfacing with austenitic grade wire, this index is 70-80HV less than in the case of surfacing with  $CB-10XTCM\Phi$  wire, this significantly reduces the wear resistance of the restored wheel. In addition, the cost of austenitic class welding wire  $CB-08X20H9T7T$  is several times higher than the cost of wire  $CB-10XTCM\Phi$ .

**Submerged arc welding.** The use of automatic submerged-arc welding has made it possible to obtain better quality weld metal. The welded rolls are much better formed than in the first two cases.

Productivity increased, and, when using some welding wires, along with their high strength and hardness, a defect-free welded joint was obtained. The wheel was heated up to 150 °C, and after welding is finished, it was cooled slowly with a thermostat.

Welding was performed using a welding machine ADF-1202 with a power source VDU-601. To rotate the wheel with the required speed (welding speed), a training lathe was used, on which the wheel to be restored was fixed with a special rod.

Welding was performed under the flux layer AN348A using Sv-08G2S, Sv-08XM and Sv-08XG2SMF wires of 2-mm diameter at the following modes:  $I_w$  - 250-260 A;  $U_p$  - 24-26 V;  $V_w$  - 30 m/h.

When surfacing with Sv-08G2S wire, no defects, such as cracks in the weld metal, were observed. However, hardness of weld metal did not exceed 180-210HV units. At surfacing with wire CB-08XM (both in the thread area and on the flanges), hot cracks were found in weld metal, mostly in the zone of transition from the thread area to the flange, where the deformation value is greater than the plasticity of the material. The hardness of weld metal was in the range of 220-250HV.

In the metal welded with CB-08XГ2CMΦ welding wire, in some cases, there were some hot cracks in the transition zone from the thread area to the flange. The hardness of weld metal was in the range of 260-290HV.

Comparison of cut samples showed that in the metal welded with CB-08Г2C wire, there were almost no defects, although hardness is quite low, and presumably wear resistance was low as well. In the metal welded with CB-08XГ2CMΦ wire, a small number of defects were observed, hardness is the highest, and, in case of adjustment and improvement of surfacing technology, it is possible to exclude the appearance of defects in weld metal. The metal welded with CB-08XXM wire showed defects like cracks both in the thread area and on the flanges.

The presence of defects such as cracks in the metal deposited with various wires was checked using an ultrasonic quality control unit, and wear resistance was established by determining the hardness of the deposited metal and testing the restored wheel pairs for abrasion under real conditions.

The analysis of the obtained results allows us to draw the following conclusions:

- All three welding methods can be used to restore worn wheels;
- In terms of the formation of weld metal and efficiency, the best results are obtained by automatic submerged arc welding;
- The best result in terms of wear resistance of the restored surfaces and their resistance to defect formation is weld metal obtained using CB-08XГ2CMΦ wire and AN348A flux.