

თვლისა და რელსის დაზიანებისა და თვლის გორვის წინააღმდეგობის შემცირება

ი. თუმანიშვილი, თ. ნაღირაძე, გ. თუმანიშვილი

თვლის რელსზე გორვის წინააღმდეგობა ძირითადად დამოკიდებულია თვალსა და რელსს შორის ხახუნის ძალებზე. თვლის რელსზე ხახუნის გამო ენერგიის დანაკარგებმა შესაძლებელია წვევაზე მოხმარებული ენერგიის 24%-ს მიაღწიოს [1], რაც ძირითადად იხარჯება ხახუნის ძალების დაძლევაზე, განსაკუთრებით მოსახვევებში. თვლისა და რელსის მიძიდვად დატვირთული კონტაქტისათვის დამახასიათებელია ხახუნის ძალების ცვალებადობა, ვიბრაციები, ხმაური და სხვადასხვა სახის დაზიანებები. ამის გამო თვალსა და რელსს შორის აუცილებელია ხახუნის მართვა. ცვეთის, დაღლილობითი დაზიანებისა და პლასტიკური დეფორმაციების გამო დაზიანებების დაგროვება მნიშვნელოვნად ამცირებს თვლებისა და რელსების მუშაობის ხანგამძლეობას. ამიტომ თვლებისა და რელსების მუშაობის ხანგამძლეობისა და მოძრაობის უსაფრთხოებისა და მრავალი ნაშრომია მიძღვნილი [2-6]. თვლის რელსზე გორვისას თვლებისა და რელსების ქრიფი და ცვეთის ინტენსივობა დიდად არის დამოკიდებული მათი მოხახუნე პროფილების გეომეტრიაზე, ტრიბოტექნიკურ თვისებებზე და თვლისა და რელსის ერთმანეთის მიმართ მდებარეობაზე. ნაშრომში განხილულია ხახუნზე ენერგიის დანაკარგები და მათ შესამცირებლად თვლის პროფილი არის შესწორებული.

საკვანძო სიტყვები: თვალი, რელსი, ხახუნი, ცვეთა, დაღლილობა, ხახუნის მოდიფიკატორი

1. შესავალი

თვლებისა და რელსების ურთიერთქმედებისას უნდა დაკმაყოფილდეს შემდეგი ძირითადი მოთხოვნები:

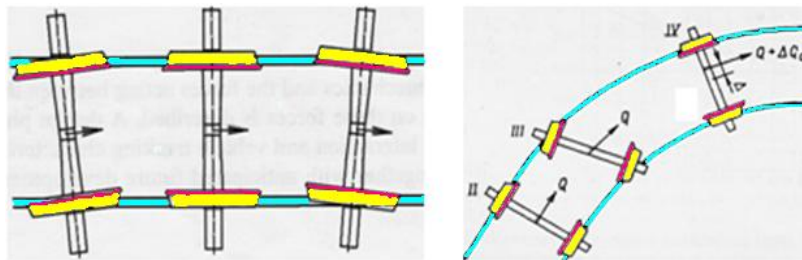
- თვლის რელსზე ასვლა და იქიდან გადმოსვლა თავიდან უნდა იყოს აცილებული;
- შემცირებული უნდა იყოს წვევაზე მოხმარებული ენერგია, ხახუნზე ენერგიის დანაკარგები და თვლისა და რელსის დაზიანების ინტენსივობა;
- გარემოს დაბინძურება ხმაურითა და ვიბრაციებით უნდა შემცირდეს.

გარდა ამისა კონტაქტის ზონის ძალური და თბური დატვირთვა ძალიან მაღალია, რაც თვლისა და რელსის დაზიანების მაღალი ინტენსივობის მიზეზია. მაგალითად, თვლისა და რელსის საწყისი ხაზოვანი კონტაქტის დროს (საყისი ხაზოვანი კონტაქტის დროს გაცვეთილი თვლისა და რელსისათვის), კონტაქტურმა დაბრუნებამ შესაძლებელია 3 გპა-ს მიაღწიოს, კონტაქტის ფართობმა 1 სმ² - ს, გორვის ზედაპირზე საშუალო ტემპერატურამ - 400°C-ს, ქიმზე - 800°C-ს, ხოლო სამუხრუჭე ხუნდზე - ლითონის დნობის ტემპერატურას. ნაჩვენებია ამ დატვირთვების შემცირების გზები.

2. თვლების რელსებზე მოძრაობისა და დატვირთვის თავისებურებები

ლიანდაგის სწორხაზოვან მონაკვეთებზე წყვილთვალის ასრულებს სინუსოიდის მაგვარ მოძრაობას ქრიფის თანხლებით. მოსახვევებში შიგა თვალი უფრო ნაკლებ

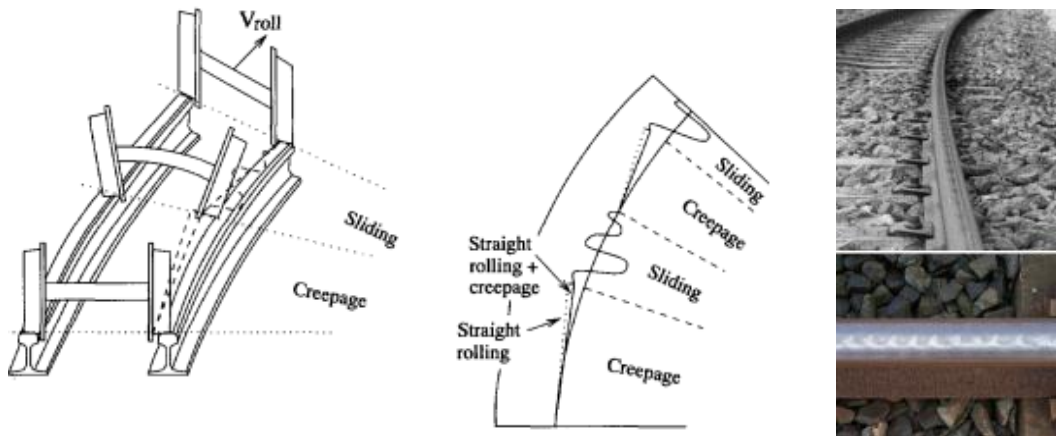
მანძილს გადის, ვიდრე გარე, რაც იწვევს წყვილთვალის ღერძის გადახრას რადიალური მდგომარეობიდან (ნახ. 1). ეს იწვევს ურიკის წინა ჭყვილთვალის გარეთვლის შეტევის კუთხის, განივი ძალისა და წორვის წინაღობის გაზრდას. ასეთ პირობებში წყვილთვალის საწყის პოზიციაში დასაბრუნებლად საჭიროა წყვილთვალის ერთ-ერთი თვლის გრძივი მიმართულებით გასრიალება. წყვილთვალის ერთ-ერთი თვალი რელსზე წყვეტადმა გასრიალებამ შესაძლებელია გამოიწვიოს წყვილთვალის გრეხვითი და ეკიპაჟის დაურესორებელი მასების გრძივი ვიბრაციები და რელსის შესაბამისი ტალღისმაგვარი ცვეთა. ასეთ შემთხვევაში ტალღისმაგვარ ცვეთას ადგილი ექნება მაშინ, როდესაც წყვილთვალის გრეხვითი რხევების რეზონანსული სიხშირე შეესაბამება ეკიპაჟის დაურესორებელი მასების ვერტიკალური რხევების სიხშირეს.



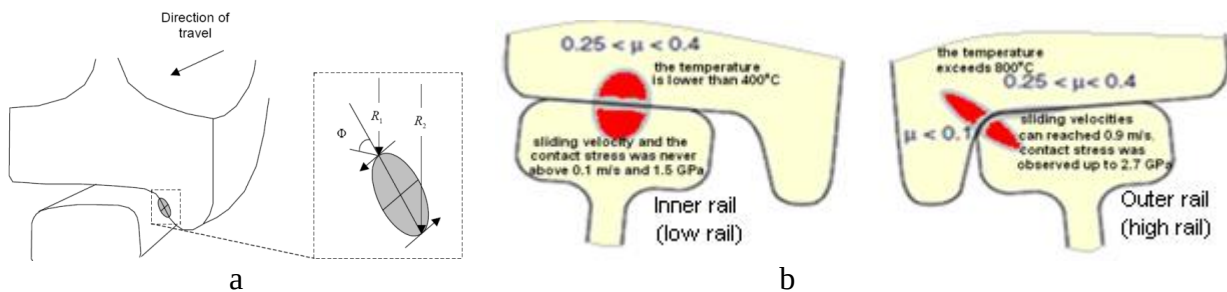
ნახ. 1. წყვილთვალის მოძრაობა ლიანდაგის სწორხაზოვან და არასწორხაზოვან მონაკვეთებზე

თვლის გორვის ზედაპირი კონუსურია და თვლის ქიმის ძირით იმაში მდოვრედ გადადის. ამიტომ კონტაქტის ზონაში მოხახუნე წერტილების დიამეტრების, ფარდობითი სრიალის, კონტაქტური ძაბვების, დეფორმაციებისა და ტემპერატურების სხვაობა ქიმის მიმართულებით იზრდება. მძიმედ დატვირთული ზედაპირებისათვის ხახუნის ძალები დამოკიდებულია კონტაქტის ზონის სიდიდეზე. მუშაობის დროს იგი თვლისა და რელსის ცვეთის გამო შეიძლება მნიშვნელოვნად გაიზარდოს. ქიმის ზედაპირზე ხახუნის ძალების გაზრდა და ცვეთის გამო ქიმის დახრის კუთხის შემცირება თვლის რელსზე აგორებასა და შემდგომში მისი რელსიდან გადმოსვლას. მოსახვევში წყვილთვალის მოძრაობისას შიგა თვალი გარეთვალს ასწრებს, რაც იწვევს წყვილთვალის ღერძის პერიოდულ გრეხვით დეფორმაციასა და მის შემდგომ უკან გასრიალებას. ასეთ შემთხვევაში შესაძლებელია ადგილი ჰქონდეს სხვადასხვა სახის დაზიანებებს: პლასტიკური დეფორმაციებისა და ადჰეზიური ცვეთის გამო რელსის ტალღურ ცვეთას, დაღლილობით დაზიანებასა და სხვა. მან შეიძლება გამოიწვიოს აგრეთვე ურიკას დაურესორებელი მასების გრძივი რხევები. ნახ. 2-ზე ნაჩვენებია მოსახვევში წყვილთვალის ლიანდაგზე მოძრაობა და ტალღურად გაცვეთილი შიგა რელსი.

ნახ. 3-ზე ნაჩვენებია კონტაქტის ზონაში სხვადასხვა რადიუსების სქემატური ხედი, კონტაქტის ზონაში ხახუნის კოეფიციენტებისა და თბური დატვირთვების სასურველი მნიშვნელობები.



ნახ. 2. წყვილთვალის ლიანდაგზე მოძრაობა და ტალღურად გაცვეთილი შიგა რელსი [7]



ნახ. 3. კონტაქტის ზონაში სხვადასხვა რადიუსის სქემატური ხედი [11] (a), კონტაქტის ზონაში ხახუნის კოეფიციენტებისა და თბური დატვირთვის სასურველი მნიშვნელობები (b) [8]

როგორც ნახ. 3-დან ჩანს, გორვის ზედაპირების ძალური და თბური დატვირთვები შედარებით მცირეა. როდესაც თვლები წვეის ან დამუხრუჭების რეჟიმში მუშაობენ, განივად გადაადგილდებიან ვერტიკალური ღერძის მიმართ ბრუნდებიან ან ბუქსაობენ სრიალის სიჩქარე და ხახუნის გზა იზრდება და ის წარმოადგენს მესამე სხეულის რღვევის ძირითად მიზეზს. ქიმის ძირსა და რელსის თავის გვერდით ზედაპირს ქრიფის, კონტაქტური დაბევისა და ტემპერატურების შედარებით მაღალი დონე აქვთ და კონტაქტის ზონაში ნაწილობრივი ან სრული გასრიალება (ქრიფი) გარდაუვალია. მათ შესაძლებელია გამოიწვიონ ხახუნის კოეფიციენტისა და ძვრის დაბევის გაზრდა და ზედაპირის ქვეშა ფენების ან ზედაპირების დეფორმაციები და დაზიანებები. ყველა შემთხვევაში, მუშაობის პირობების გასაუმჯობესებლად მოსახვევებში ხახუნის კოეფიციენტის მართვა (ქიმისა და ორივე რელსის თავის გვერდით ზედაპირზე ხახუნის კოეფიციენტის შემცირება, გარე რელსის გორვის ზედაპირზე ხახუნის კოეფიციენტის სიდიდის შენარჩუნება ხოლო შიგა რელსის გორვის ზედაპირზე ხახუნის კოეფიციენტის შემცირება) აუცილებელია.

თვლისა და რელსის კონტაქტი გორვა-სრიალის კონტაქტია, რომელიც შეიძლება გაიყოს გასრიალებისა და შეჭიდულობის ზონებად. გორვის ზედაპირის

გასრიალების ზონა დაკავშირებულია წვევის ძალასთან, ქრიფთან და კონტაქტის გეომეტრიასთან. მოსახვევში მოძრაობისას, დამუხრუჭებისას და აჩქარებისას სრიალის წილი იზრდება.

თვლებისა და რელსების სხვადასხვა ადგილის სხვადასხვა თვისებები უნდა ჰქონდეთ. თვლის ქიმისა და რელსის თავის გვერდით ზედაპირზე ხახუნის კოეფიციენტის შეძლებისმაგვარად მცირე უნდა იყოს - 0,1-ზე ან 0,2-ზე ნაკლები (ხახუნისა და ადჰეზიის კოეფიციენტების შესახებ სხვადასხვა წყაროში სხვადასხვა მონაცემებია [9-11]). გორვის ზედაპირზე განსაკუთრებით მაღალი ხახუნი იწვევს ინტენსიურ ცვეთას, პლასტიკურ დეფორმაციებსა და დაღლილობას, ხოლო დაბალი ხახუნი შესაძლებელია აღმოჩნდეს ცუდი წვევისა და დამუხრუჭების მიზეზი. მაგრამ მოხახუნე ზედაპირების ხახუნის კოეფიციენტის ტიპური ცვალებადობის ზღვრებია 0,1-0,7. თვლისა და რელსის გორვის ზედაპირებისათვის 0,25-ზე ნაკლები და 0,4-ზე მეტი არ უნდა იყოს; გორვის ზედაპირებისათვის ხახუნის კოეფიციენტის ოპტიმალური მნიშვნელობაა 0,35 [10-12]. ეს არის თვლისა და რელსის ნორმალური ურთიერთქმედების ერთ-ერთი მოთხოვნა.

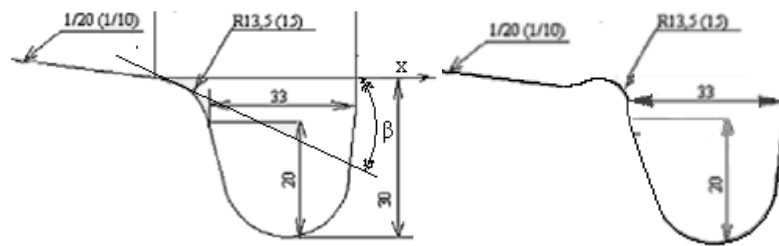
არა მხოლოდ ორწერტილოვანი და კონფორმული კონტაქტისათვის, ერთწერტილოვანი კონტაქტისთვისაც კონტაქტის ზონაში ურთიერთქმედებაში მყოფი წერტილები სხვადასხვა დიამეტრზე იქნება. ამიტომ გაზრდილი ფარდობითი სრიალი ყველა შემთხვევაში შეიძლება იყოს გაზრდილი თბური დატვირთვის, ძვრის ძაბვების, მესამე სხეულის რღვევის, ადჰეზიური ცვეთისა და ჩაჭდვის მიზეზი. გარდა ამისა, არაადეკვატური ხახუნმა შეიძლება გამოიწვიოს სარკინიგზო შემთხვევა - თვლის ქიმზე მაღალმა ხახუნმა შეიძლება გამოიწვიოს მისი რელსზე ასვლა და იქიდან გადმოსვლა [13,14]. თვლის გორვის ზედაპირის, ქიმის ძირისა და ქიმის უშუალო სიახლოვემ შესაძლებელია გამოიწვიოს მათთვის განკუთვნილი ხახუნის მოდიფიკატორების ერთმანეთში შერევა, რაც მათ თვისებებს შეცვლის.

რკინიგზის ტრანსპორტში ენერგიის მოხმარების მნიშვნელოვანი ნაწილი მოდის თვალი-რელსის ხახუნზე. მძიმედ დატვირთული მოხახუნე სხეულებისათვის მესამე სხეულის ნაწილობრივი ან სრული არარსებობისას ამ სხეულების ურთიერთ მიმართ გადაადგილების წინაღობა დამატებით დამოკიდებულია ფაქტორები კონტაქტის ფართის ადჰეზიის ძალებზე და მათი გაზრდა იწვევს ხახუნის ადჰეზიური კომპონენტის ზრდას. ორი სხეულის ხახუნის ძალა არის აგრეთვე კონტაქტის ფაქტორები ფართობის ფუნქცია A_{micro} , $F_f = \psi(\sum \tau A_{asp})$ [15], სადაც τ არის მოხახუნე სხეულების ჯამური ზვრის ძაბვა.

თვლებისა და რელსების არსებული პროფილები შესაძლებელია გაიყოს გორვის ზედაპირებად (რომლებიც მონაწილეობენ "თავისუფალ" გორვაში, წვევაში და დამუხრუჭებაში), მიმმართველ ზედაპირებად (ქიმი და რელსის თავის გვერდითი ზედაპირი, რომლებიც მონაწილეობენ მოსახვევებში თვლების მიმართვაში და თვალს იცავენ რელსიდან გადმოსვლისაგან) და გორვა-მიმმართველი ზედაპირება (ქიმის ძირი და რელსის კუთხე, რომლებიც მონაწილეობენ "თავისუფალ" გორვაში, წვევაში, დამუხრუჭებაში და თვლის მიმართვაში). მაგრამ წვევა (დამუხრუჭება), "თავისუფალი" გორვა და თვლის მიმართვა ურთიერთ გამომრიცხავ თვისებებს მოითხოვს: წვევისა და დამუხრუჭებისას მაღალ ხახუნის კოეფიციენტს, ხოლო მიმართვისას - დაბალს. ამიტომ მათ უნდა ჰქონდეთ შესაბამისი თვისებები და ხახუნის მოდიფიკატორები. გარდა ამისა, გორვის ზედაპირის ქიმის ძირში და შემდეგ

ქიმში გადასვლა გამოიწვევს შესაბამისი ხახუნის მოდიფიკატორების ერთმანეთში შერევას.

პროფილების ურთიერთქმედების თანმხლები პროცესები, განსაკუთრებით ქრიფის ზრდის დროს (წვეის ძალის ზრდის დროს ან კონტაქტის ადგილის ქიმისაკენ გადაადგილებისას) ხელს უწყობს აგრეთვე მესამე სხეულისა და მოხახუნე სხეულების რღვევას. ამიტომ კონტაქტში მესამე სხეულის არსებობას განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს. მაგრამ თვლის სრიალი ზრდის კონტაქტის ზედაპირული ფენების ძალურ და თბურ დატვირთვას, წარმოშობს ვიბრაციებს, ხმაურს და ცვეთის განსაკუთრებით საშიშ სახეს - ჩაჭდევას.



ნახ. 4. არსებული (a) და შემოთავაზებული (b) თვლის პროფილები

არსებული თვლის პროფილი მოყვანილია ნახ. 4,a-ზე. გორვისა და მიმმართველი ზედაპირების განცალკევებისათვის, თვლის ქიმის ძირისა და რელსის კუთხის ურთიერთქმედების თავიდან აცილებისათვის და ხახუნის მოდიფიკატორების ერთმანეთში შერევის ალბათობის შემცირებისათვის ჩვენ ვთავაზობთ გორვის ზედაპირის ქიმში გადასვლის ადგილზე სპეციალური ღარის გაკეთებას (ნახ. 6, b).

დასკვნები

- გორვისა და მიმმართველი ზედაპირების მუშაობის პირობები და ფუნქციები განსხვავებულია. ამიტომ თვლის ძირისა და რელსის კუთხის გამოყენება როგორც მიმმართველის, ასევე გორვის ზედაპირის დანიშნულებით მიუღებელია;
- გორვისა და მიმმართველი მათი მოდიფიკატორების ერთმანეთთან შერევის თავიდან ასაცილებლად ერთმანეთისაგან მკვეთრად განცალკევებულნი უნდა იყვნენ;
- დამუშავებულია თვლის ახალი პროფილი, სადაც გორვისა და მიმმართველი ზედაპირები ერთმანეთისაგან განცალკევებულია სპეციალური ღარის მეშვეობით.

ლიტერატურა

1. Railroad and Locomotive Technology Roadmap. ANL/ESD/02-6. by Frank Stodolsky, Roadmap Coordinator. Center for Transportation Research, Energy Systems Division Argonne National Laboratory.
2. Iwnicki S.D. (ed). A Handbook of railway vehicle dynamics. CRC Press, London, (ISBN:0849333210) 2006,

3. Lewis R. and Dwyer-Joyce R.S. Wear mechanisms and transitions in railway wheel steels. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 218(6), 467-478, 2004.
4. J. Kalousek Lubrication: Its various Types and Effects on Rail/Wheel Forces and wear, Rail and wheel Lub Symp, Sept 1981.
5. Enblom R. Simulation of Wheel and Rail Profile Evolution Wear Modeling and Validation. Licentiate Thesis, TRITA AVE, ISSN 1651-7660, ISBN 91-7283-806-X, 2004.
6. Dwyer-Joyce R.S. Lewis R. Gao N. and Grieve D.G. Wear and fatigue of railway track caused by contamination, sanding and surface damage. 6th International Conference on Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems (CM2003) in Gothenburg, Sweden June 10–13, 2003.
7. Christophe Collette*, Mihaita Horodincu and Andre Preumont. Rotational vibration absorber for the mitigation of rail rutting corrugation. *Vehicle System Dynamics*. Vol. 00, No. 0, Month 2008, 1–19.
8. Kalousek J., Magel E. Modifying and managing friction, in: *Railway Track & Structures*, 1997: pp. 5–6.
9. Lundmark J. Hoglund E. Prakash B. Running-in behavior of rail and wheel contacting surfaces. *International Conference on Tribology*, 20-22, Parma, Italy, September 2006.
10. R. Lewis, and U. Olofsson, Mapping rail wear regimes and transitions. *Wear*, 257 (7-8). pp. 721-729, 2004.
11. Donald T. Eadie, Bover E., Kalousek J. The Role Of Friction Control In Effective Management of The Wheel / Rail Interface. Presented at The Railway Technology Conference at Railtex November 2002, Birmingham, UK.
12. Vasic G., Franklin F. J. and Kapoor A. Prepared for the Railway Safety and Standards board. University of Sheffield. Report: RRUUK/A2/1, July 2003.
13. Müller B., Jansen E., F. de Beer. UIC Curve Squeal Project WP3. Swiss Federal Railways. Rail Environmental Center. 2003.
14. Nazarov Prispevku, Kelvin S. Chiddick, and Donald T. Eadie. Wheel /rail friction management sollutions. Presented at 14th Int. Conference on Current Problems in Rail Vehicles, PRORAIL 99, Prague 1999.
15. Yifei Mo., Turner K. T. & Szlufarska I. Friction laws at the nanoscale. *Nature*, Vol 457, 26 | doi:10.1038/07748, February 2009.