

DOI: 10.15593/2224-9877/2017.1.02

УДК 625.032.432

Я.О. Кузьмицкий, Д.В. Шевченко

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия

УЧЕТ НЕОДНОРОДНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБОДА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО КОЛЕСА В ЗАДАЧЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОЛЕСА И РЕЛЬСА

В исследовании определены механические свойства обода железнодорожного колеса в зависимости от расстояния до поверхности катания. В качестве начальных данных использовались результаты эксперимента по определению твердости обода железнодорожного колеса методом Виккерса. Эти данные были переведены в твердость по шкале Бринелля и аппроксимированы монотонной кривой. С помощью известных эмпирических соотношений были определены пределы прочности и текучести обода в зависимости от расстояния до поверхности катания. Было определено, что соотношение полученных величин пределов прочности и текучести обода не соответствует отношению соответствующих величин, полученных экспериментальным путем. С использованием экспериментальных данных было получено дополнительное соотношение, связывающее пределы прочности и текучести для стали марки Т. Создана конечно-элементная модель системы колесо – рельс, учитывающая упруго-пластические свойства материала и контактное взаимодействие между колесом и рельсом. Размер элемента в области контактного взаимодействия составляет 0,5 мм, для остальной модели он колеблется от 2 до 15 мм. Всего модель содержит около 0,5 млн узлов. Решены задачи контактного взаимодействия колеса и рельса с учетом и без учета неоднородности механических свойств обода колеса. Построены графики зависимости эквивалентных напряжений, пластических, упругих и полных деформаций в ободе колеса от расстояния до поверхности катания. На основе этих данных показана целесообразность учета неоднородности в задачах, целью которых является крайне точное описание напряженно-деформированного состояния системы колесо – рельс в зоне контакта.

Ключевые слова: колесная пара, железнодорожное колесо, система колесо – рельс, неоднородность механических свойств, твердость обода, пределы прочности и текучести, пластические деформации, напряжения в ободе колеса, контактное взаимодействие, метод конечных элементов.

Ya.O. Kuzmitskiy, D.V. Shevchenko

Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University,
Saint Petersburg, Russian Federation

RAILWAY WHEEL RIM MECHANICAL PROPERTIES HETEROGENEITY ACCOUNTING IN THE PROBLEM OF CONTACT INTERACTION BETWEEN WHEEL AND RAIL

The mechanical properties of the rim of a railway wheel depending on the distance from the tread surface were determined in the article. The results of the experiment, which determines the hard

ness of the rim of railway wheel by the method of Vickers, was used as the initial data. This data was converted to hardness according to the Brinell scale and approximated using a monotone curve. Using known empirical equations ultimate strength and yield strength of the wheel rim depending on the distance from the tread surface were determined. It was determined that the ratio of the obtained values of ultimate strength and yield strength of the rim does not correspond to the ratio of the relevant values obtained experimentally. Using experimental data an additional expression relating the ultimate strength and yield strength for steel grade T was obtained. Finite element model of the wheel-rail system, which takes into account elastic-plastic material properties and contact interaction between wheel and rail, was created. The element size in the area of contact interaction is 0.5 mm, for the rest of the model it ranges from 2 to 15 mm. The entire model contains about 0.5 million nodes. The wheel-rail contact interaction problem considering both homogeneous and heterogeneous mechanical properties of the wheel rim was solved. Figures showing the dependence of equivalent stress, plastic, elastic and full deformation in the rim on the distance from the rolling surface are plotted. It is shown that heterogeneous properties are worth considering only in the aim of very accurate determination of the stress-strain state of the system wheel-rail in the contact zone.

Keywords: wheel pair, railway wheel, wheel-rail system, mechanical properties heterogeneity, rim hardness, ultimate and yield strength, plastic strain, stress in the wheel rim, contact interaction, finite element method.

Введение

Колесные пары являются наиболее ответственными узлами вагона, от исправного состояния которых напрямую зависит безопасность движения поездов и работоспособность вагона. В связи с этим к ним предъявляются определенные требования по прочности, износостойкости, динамическим качествам, материалоемкости и др.

Производство и обработку железнодорожных колес можно разделить на несколько основных этапов:

- 1) изготовление колеса;
- 2) удаление лишнего водорода;
- 3) закалка обода;
- 4) отпуск;
- 5) дробенаклеп поверхности катания [1].

Важным этапом в процессе производства железнодорожных колес является упрочнение (за счет термической обработки и дробенаклепа) наиболее нагруженной части колеса – обода. Именно повреждение обода является основной причиной выхода из строя колесных пар [2, 3]. Исходя из этого для правильного моделирования процессов, происходящих в ободу, зоне контакта системы колесо – рельс, необходимо максимально точно учитывать не только геометрические параметры, нагружение, но и неоднородность механических свойств обода от поверхности катания вглубь колеса.

В последнее время, с развитием метода конечных элементов, было написано большое количество статей по различным проблемам, свя-

занным с движением колеса по рельсу: статические и динамические задачи прочности, усталостная прочность, страгивание, «юз», «боксование» [4–10]. Однако обычно при расчетах не учитывается неоднородность свойств в ободе колеса, что говорит о возможной неточности полученных результатов.

Целью работы является учет меняющихся свойств стали в ободе колеса в зависимости от расстояния до поверхности катания. Полученные поля напряжений и деформаций будут сравниваться с задачей, в которой свойства обода приняты однородными. На основе этого сравнения будет сделан вывод о необходимости точного описания механических свойств обода железнодорожного колеса.

Определение механических свойств обода

При решении механической задачи в упруго-пластической постановке необходимо знать не только свойства материала, необходимые для решения упругой задачи: модуль Юнга и коэффициент Пуассона материала, но и предел текучести и предел прочности. Для каждого класса стали существуют определенные соотношения между ее свойствами. Например, между пределом прочности и твердостью, между пределом прочности и пределом текучести. Таким образом, зная, например, зависимость твердости обода от расстояния до поверхности катания, можно, используя известные эмпирические соотношения, получить распределения пределов текучести и прочности по ободу колеса.

Стоит отметить, что более точным методом определения свойств обода колеса являются испытания. Однако такой способ требует очень высокой точности по вырезанию образцов из обода колеса, поэтому для первого этапа исследования целесообразно ограничиться приближительным определением свойств с помощью известных соотношений.

Для стандартного колеса вагонной тележки с нагрузкой 25 т/ось, изготовленного из стали Т, существуют эксперименты по определению распределения твердости по ободу. Данные одного из экспериментов по определению твердости методом Виккерса приведены в табл. 1. Также в таблице даны значения твердости, переведенные в шкалу по Бринеллю по формуле

$$HB = 0,91 \cdot HV + 9,75. \quad (1)$$

Данная формула является линейной аппроксимацией таблицы перевода твердости, приведенной в американских стандартах¹.

Таблица 1

Зависимость твердости в ободе от расстояния
до поверхности катания колеса

Расстояние до поверхности катания колеса, мм	Твердость из эксперимента по Виккерсу HV	Твердость, переведенная в шкалу по Бринеллю, HB
1	373	351
4	344	324
6	315	298
7	311	294
12	336	317
13	334	315
15	353	332
20	327	309
24	325	307
29	334	315
30	323	305
33	323	305
39	320	302
43	330	311
44	315	298
49	309	292
50	315	298

Полученные в эксперименте значения твердости не имеют четко выраженной монотонности. Это связано с характерной особенностью определения твердости методом Виккерса: в данном методе используется индентор небольшого размера, поэтому получаемые значения твердости могут сильно колебаться в зависимости от попадания индентора в более мягкие или твердые зерна материала [11, 12]. Для более правильного описания механических свойств необходимо аппроксимировать зависимость твердости от расстояния до поверхности ката-

¹ American National Standard E140. Standard hardness conversion tables for metals. ASTM, 1997. 21 p.; International Standard 18265. Metallic materials – conversion of hardness values. ISO, 2003. 80 p.

ния гладкой кривой. Такая кривая для твердости по Бринеллю приведена на рис. 1 (пунктирной линией обозначена экспериментальная зависимость твердости, сплошной – аппроксимированная зависимость).

Связь между пределом прочности, пределом текучести и твердостью по Бринеллю для стали определяется следующими выражениями:

$$\sigma_B = (3,4 \dots 3,5) \text{ НВ}, \quad (2)$$

$$\sigma_T = (1,65 \dots 1,7) \text{ НВ}. \quad (3)$$

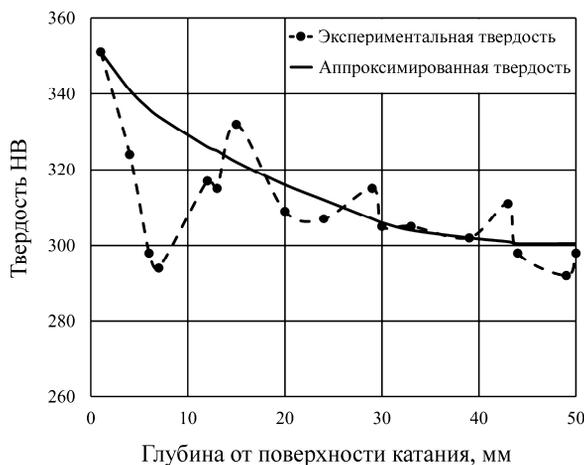


Рис. 1. Зависимость твердости в обода колеса от расстояния до поверхности катания

Эксперименты показывают, что для каждой конкретной марки стали соотношение предела прочности и предела текучести практически неизменно при любых видах термообработки. Таким образом, чтобы определить зависимость, связывающую пределы текучести и прочности упрочненного обода колеса, изготовленного из стали марки Т, воспользуемся результатами испытаний по растяжению образцов, вырезанных из различных зон колеса. В этом эксперименте были определены пределы текучести и прочности (результаты приведены в табл. 2).

Согласно выражениям (2) и (3) отношение предела прочности к пределу текучести лежит в интервале 2,0–2,1. Как видно из табл. 2, для стали Т это соотношение неверно. В связи с этим было проведено осреднение полученных в результате эксперимента данных и выведена следующая зависимость предела текучести от предела прочности:

$$\sigma_T = 0,51\sigma_B + 262. \quad (4)$$

Таблица 2

Экспериментальные пределы текучести и прочности
образцов из стали Т

Номер образца	Предел прочности σ_B , МПа	Предел текучести σ_T , МПа
1	935	820
2	987	746
3	1000	860
4	1020	700
5	1020	793
6	1030	772
7	1043	800
8	1048	663
9	1065	765
10	1070	730
11	1076	880
12	1077	850
13	1077	890
14	1155	726
15	1170	1003
16	1385	980

Далее, используя аппроксимированную твердость по Бринеллю и формулы (2) и (3), получили зависимости пределов прочности и текучести от расстояния до поверхности катания колеса. Результаты приведены на рис. 2 (будем считать, что свойства материала начиная с глубины 50 мм постоянны).

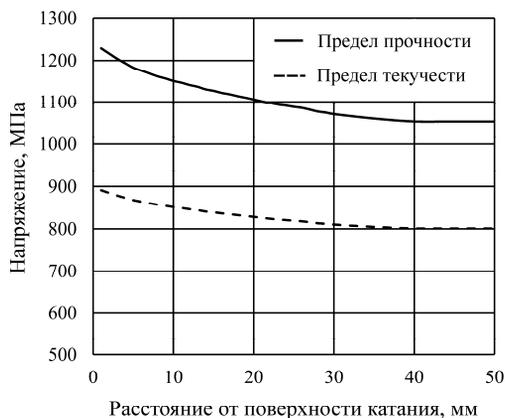


Рис. 2. Зависимость пределов текучести и прочности в ободу колеса от расстояния до поверхности катания

Постановка задачи

Геометрическая модель системы колесо – рельс с сеткой конечных элементов приведена на рис. 3, 4. Размер элементов в области контакта колеса и рельса равен 0,5 мм, а на остальной модели от 2 до 15 мм. При построении сетки использовались гексаэдральные и тетраэдральные элементы для перехода от мелких элементов в контакте к крупным элементам на колесе. КЭ-модель включает в себя 592 101 элемент, 488 339 узлов и 1 465 017 степеней свободы.

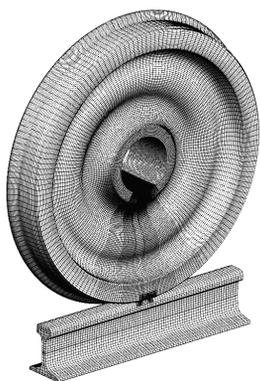


Рис. 3. Вид КЭ-сетки

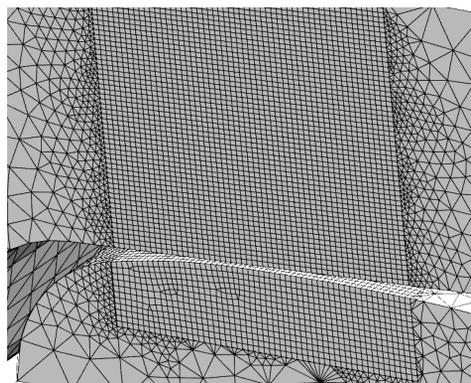


Рис. 4. Сгущение КЭ-сетки в области контакта колеса и рельса

В качестве граничных условий в рассматриваемой задаче были запрещены все компоненты перемещений на нижней грани рельса. К осевому отверстию колеса прикладывалась вертикальная сила, равная 125 кН, возникающая от действия веса вагона.

Решалась статическая задача взаимодействия колеса и рельса под действием веса вагона с учетом контактного взаимодействия. Поведение материалов системы колесо – рельс описывалось математической моделью с упруго-пластическими свойствами. Были решены две задачи: в первой были приняты однородные свойства колеса, во второй неоднородные (в соответствии с табл. 2). Свойства материалов приведены в табл. 3².

² ГОСТ 10791–2011. Колеса цельнокатаные. Технические условия / ВНИИЖТ. М., 2012. 33 с.; ГОСТ Р 51685–2013. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия / ВНИИЖТ. М., 2014. 101 с.

Свойства материалов

Материал	Модуль Юнга E , МПа	Коэффициент Пуассона ν	Предел текучести σ_t , МПа	Предел прочности σ_B , МПа
Сталь 76ХФ (рельс)	$2,1 \cdot 10^5$	0,28	800	1180
Сталь Т (колесо, задача 1)			800	1000
Сталь Т (колесо, задача 2)			В соответствии с табл. 2*	

* Для материала, находящегося на расстоянии 50 мм и более от поверхности катания колеса, принимаются одинаковые механические свойства.

В области контакта колеса и рельса были заданы стандартные условия механики контактного взаимодействия, учитывающие трение [13–15]:

$$u_n^1 = -u_n^2,$$

$$p_c^1 = p_c^2, \quad (5)$$

$$\tau_c^1 = \tau_c^2 \left(|\tau_c^1| \leq \mu |p_c^1| \right),$$

где u_n – нормальная компонента вектора перемещений; p_c – контактное давление; τ_c – касательные контактные напряжения; μ – коэффициент трения (принимается равным 0,3).

Результаты расчетных исследований

Построение модели было выполнено в NX, а непосредственно решение было проведено с помощью программной системы конечно-элементного анализа ANSYS.

Поля напряжений в зоне контакта колеса и рельса приведены на рис. 5, 6 (значения приведены в мегапаскалях). Графики зависимости напряжений от расстояния до поверхности катания приведены на рис. 7–9.

Из полученных результатов видно, что при решении задачи с учетом неоднородности свойств обода зона пластических деформаций немного уменьшается (около 0,5 мм). Напряжения в ободке колеса с учетом и без учета неоднородности механических свойств заметно

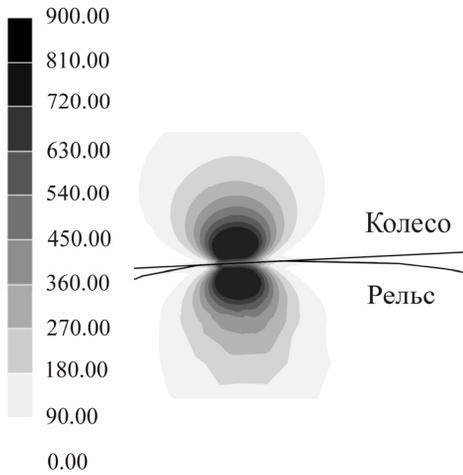


Рис. 5. Поле напряжений в контакте без учета неоднородности механических свойств обода

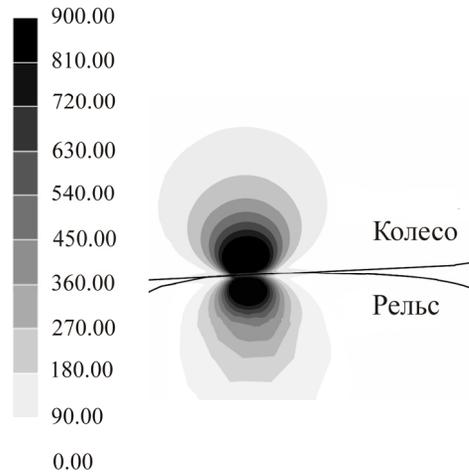


Рис. 6. Поле напряжений в контакте с учетом неоднородности механических свойств обода

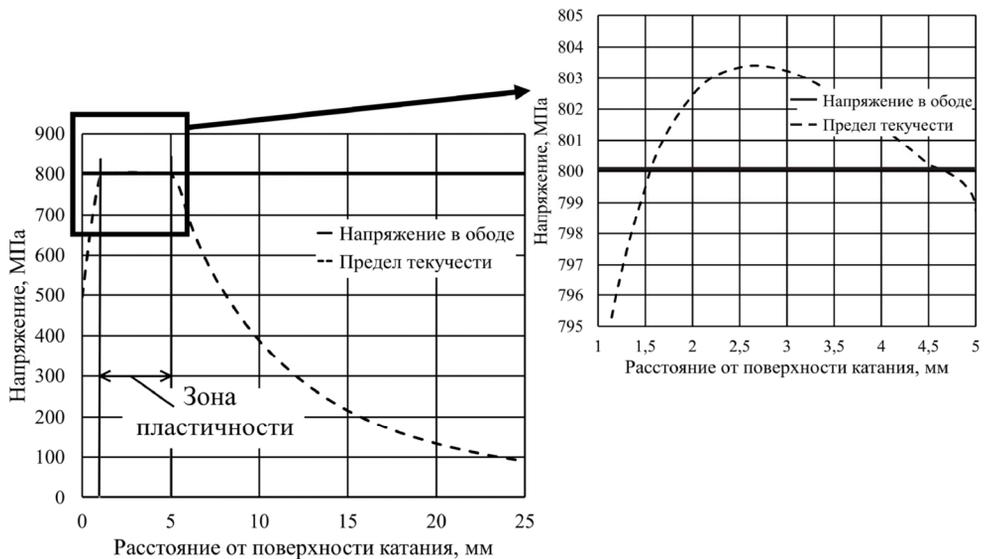


Рис. 7. Напряжение в ободке колеса без учета неоднородности механических свойств

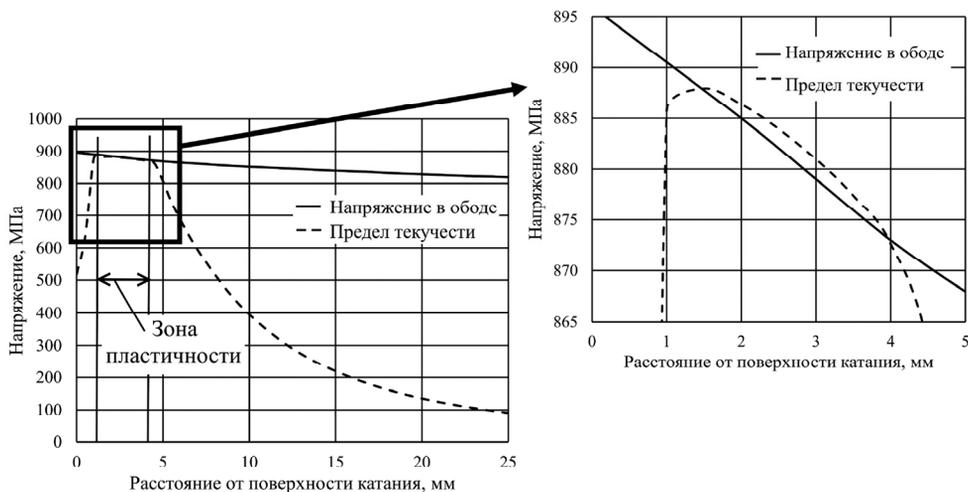


Рис. 8. Напряжение в ободке колеса с учетом неоднородности механических свойств



Рис. 9. Напряжение в ободке колеса с учетом и без учета неоднородности механических свойств

отличаются только в зоне от 1 до 5 мм от поверхности катания (т.е. в той зоне, в которой наблюдаются пластические деформации, и около нее). Однако стоит отметить, что анализ напряженно-деформированного состояния какой бы то ни было конструкции по напряжениям, в случае наличия пластических деформаций, не совсем верен. Для правильного анализа полученных результатов необходимо обратить свое

внимание именно на деформации: упругие, пластические и полные. Для обода колеса эти величины представлены на рис. 10–14 (значения приведены в процентах).

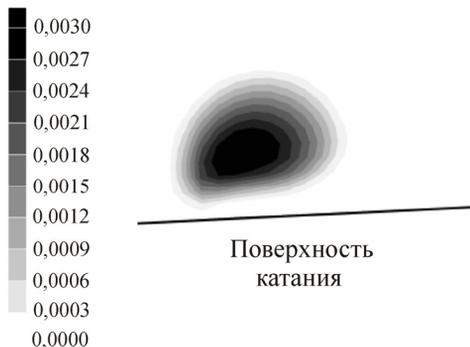


Рис. 10. Поле пластических деформаций обода без учета неоднородности механических свойств



Рис. 11. Поле пластических деформаций обода с учетом неоднородности механических свойств

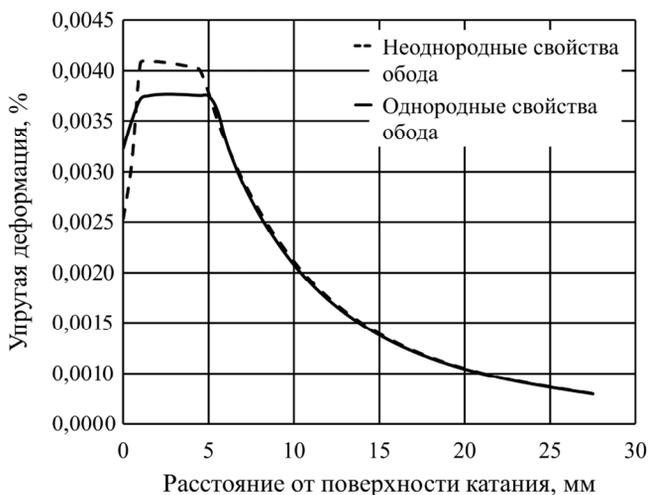


Рис. 12. Упругие деформации в ободке колеса с учетом и без учета неоднородности механических свойств

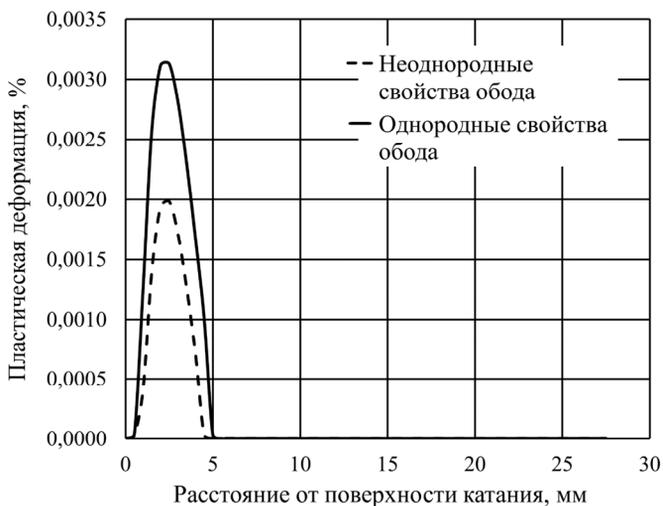


Рис. 13. Пластические деформации в ободке колеса с учетом и без учета неоднородности механических свойств

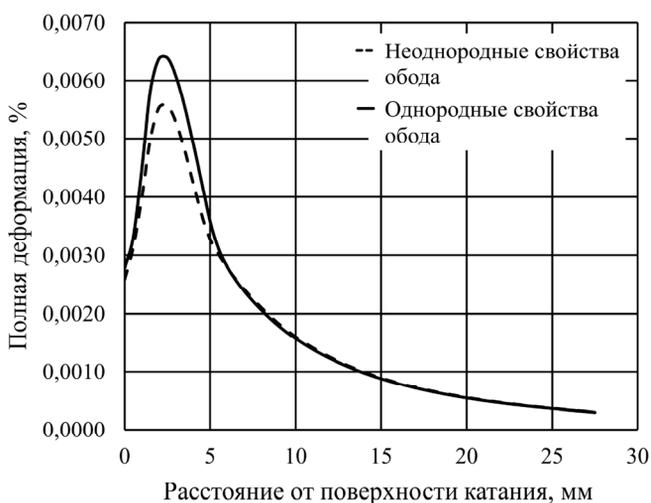


Рис. 14. Полные деформации в ободке колеса с учетом и без учета неоднородности механических свойств

Полные и упругие деформации в ободке колеса с учетом и без учета неоднородности механических свойств, как и напряжения, отличаются только в зоне пластических деформаций. Учет упрочнения обода дает снижение пластических деформаций на 38 %, полных деформаций – на 13 % и увеличение упругих деформаций на 11 %. Также по за-

висимости, приведенной на рис. 13, видно, что область пластических деформаций действительно уменьшается в случае учета неоднородности свойств обода.

Заключение

В работе было исследовано влияние учета неоднородности механических свойств обода колеса на напряженно-деформированное состояние обода при решении контактной задачи взаимодействия колеса с рельсом.

В задаче, учитывающей неоднородность, наблюдается увеличение напряжений в области обода колеса, а точнее в месте возникновения пластических деформаций, возникающее за счет увеличения пределов текучести и прочности обода по сравнению с однородными свойствами. В остальных зонах напряжения практически не отличаются.

Также наблюдается уменьшение пластических и полных деформаций и увеличение упругих деформаций. Из полученных результатов видно, что значительное относительное изменение наблюдается только для пластических деформаций (снижение на 38 %).

В целом, анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что учет неоднородности свойств влияет на напряженно-деформированное состояние обода, но значительные изменения наблюдаются лишь для пластических деформаций. Таким образом, учитывать неоднородность целесообразно только при решении задач, в которых есть необходимость максимально точно описать поведение обода (однако в этом случае наиболее правильно будет определять механические свойства экспериментальным путем). Во всех остальных случаях достаточно будет использовать некие осредненные данные по толщине обода.

Список литературы

1. Бибик Г.А., Иоффе А.М., Староселецкий М.И. Производство железнодорожных колес. – М.: Металлургия, 1982. – 232 с.
2. Богданов А.Ф., Чурсин В.Г. Эксплуатация и ремонт колесных пар вагонов. – М.: Транспорт, 1985. – 270 с.
3. Изотов В.И., Филиппов Г.А. Экспертная оценка эксплуатационных повреждений железнодорожных колес // Деформация и разрушение материалов. – 2005. – № 8. – С. 2–7.

4. Воробьев А.А., Сорокин П.Г. Исследование напряженного состояния пятна контакта колеса и рельса // Новые материалы и технологии в машиностроении. – 2004. – № 3. – С. 8–18.

5. Клебанов Я.М., Кураева Я.В. Применение метода конечного элемента в анализе контактного взаимодействия рельса с вагонным колесом подвижного состава // Вестник СГТУ. – 2008. – № 1. – С. 59–62.

6. Губенко С.И., Иванов И.А., Соболев А.А. Особенности износа поверхности катания цельнокатаных колес // Известия Петерб. ун-та путей сообщения. – 2013. – № 1. – С. 73–84.

7. Арсеньев И.Д., Шевченко Д.В., Боровков А.И. Конечно-элементное моделирование и исследование эволюции контактных напряжений при страгивании железнодорожного колеса // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2011. – № 2. – С. 5–13.

8. Рубан В.Г., Матва А.М. Влияние характеристик контакта колеса и рельса на динамику экипажа // Научные труды SWorld. – 2013. – Т. 3, № 4. – С. 11–17.

9. Ведякин Ф.Ф., Ушак В.Н. Движение колесной пары с учетом сил крипа // Повышение динамических качеств подвижного состава и поезда: сб. тр. – Омск, 2011. – С. 82–87.

10. Клебанов Я.М., Кураева Я.В. Применение метода конечного элемента в анализе контактного взаимодействия рельса с вагонным колесом подвижного состава // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Физ.-мат. науки. – 2008. – № 1. – С. 59–62.

11. Колмаков А.Г., Терентьев В.Ф., Бакиров М.Б. Методы измерения твердости. – М.: Интермет Инжиниринг, 2005. – 150 с.

12. Методы определения твердости металлических материалов / А.Г. Колмаков, Ю.И. Головин, В.Ф. Терентьев, М.Б. Бакиров. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. техн. ун-та, 2000. – 80 с.

13. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. – М.: Мир, 1989. – 510 с.

14. Попов В.Л. Механика контактного взаимодействия и физика трения. – М.: Физматлит, 2012. – 348 с.

15. Popov V.L. Contact mechanics and friction. Physical principles and applications. – Springer-Verlag, 2010. – 362 с.

References

1. Bibik G.A., Ioffe A.M., Staroseletskii M.I. Proizvodstvo zheleznodorozhnykh koles [Production of railway wheels]. Moscow, Metallurgiya, 1982, 232 p.

2. Bogdanov A.F., Chursin V.G. Ekspluatatsiia i remont kolesnykh par vagonov [Operation and repair of wheel couples of cars]. Moscow, Transport, 1985, 270 p.

3. Izotov V.I., Filippov G.A. Ekspertnaia otsenka ekspluatatsi-onnykh povrezhdenii zheleznodorozhnykh koles [Expert assessment of operational damages of railway wheels]. *Deformation and destruction of materials*, 2005, no. 8, pp. 2–7.

4. Vorob'ev A.A., Sorokin P.G. Issledovanie napriazhennogo sostoianiiia piatna kontakta kolesa i rel'sa [Research of tension of a spot of contact of a wheel and rail]. *Novye materialy i tekhnologii v mashinostroenii*, 2004, no. 3, pp. 8–18.

5. Klebanov Ia.M., Kuraeva Ia.V. Primenenie metoda konechnogo elementa v analize kontaktnogo vzaimodeistviia rel'sa s vagonnym kolesom podvizhnogo sostava [Application of a method of a final element in the analysis of contact interaction of a rail with a carriage wheel of the rolling stock]. *Vestnik Saratovskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*, 2008, no. 1, pp. 59–62.

6. Gubenko S.I., Ivanov I.A., Sobolev A.A. Osobennosti izno-sa poverkhnosti kataniiia tsel'nokatanykh koles [Features of wear of a surface of driving of seamless-rolled wheels]. *Izvestiia Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniia*, 2013, no. 1, pp. 73–84.

7. Arsen'ev I.D., Shevchenko D.V., Borovkov A.I. Konechno-elementnoe modelirovanie i issledovanie evoliutsii kontaktnykh napriazhenii pri stragivanii zheleznodorozhnogo kolesa [Final and element modeling and research of evolution of contact tension when moving a railway wheel]. *PNRPU. Mechanics Bulletin*, 2011, no. 2, pp. 5–13.

8. Ruban V.G., Matva A.M. Vliianie kharakteristik kontakta ko-lesa i rel'sa na dinamiku ekipazha [Influence of characteristics of contact of a wheel and rail on dynamics of crew]. *Nauchnye trudy SWorld*, 2013, vol. 3, no. 4, pp. 11–17.

9. VEDIKIN F.F., Ushak V.N. Dvizhenie kolesnoi pary s uchetom sil kriipa [The movement of wheel couple taking into account forces of a kripa]. *Povyshenie dinamicheskikh kachestv podvizhnogo sostava i poezda: sbornik trudov*. Omsk, 2011, pp. 82–87.

10. Klebanov Ia.M., Kuraeva Ia.V. Primenenie metoda konechnogo elementa v analize kontaktnogo vzaimodeistviia rel'sa s vagonnym kolesom podvizhnogo sostava [Application of a method of a final element in the analysis of contact interaction of a rail with a carriage wheel of the rolling stock]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Fiziko-matematicheskie nauki*, 2008, no. 1, pp. 59–62.

11. Kolmakov A.G., Terent'ev V.F., Bakirov M.B. Metody izme-reniia tverdstoi [Methods of measurement of hardness]. Moscow, Internet Inzhiniring, 2005, 150 p.

12. Kolmakov A.G., Golovin Iu.I., Terent'ev V.F., Bakirov M.B. Metody opredeleniia tverdstoi metallicheskih materialov [Methods of determination of hardness of metal materials]. Voronezh, Izdatel'stvo Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2000, 80 p.

13. Dzhonson K. Mekhanika kontaktnogo vzaimodeistviia [Mechanics of contact interaction]. Moscow, Mir, 1989, 510 p.

14. Popov V.L. Mekhanika kontaktnogo vzaimodeistviia i fizika treniia [Mechanics of contact interaction and physics of friction]. Moscow, Fizmatlit, 2012, 348 p.

15. Popov V.L. Contact mechanics and friction. Physical principles and applicatios. Springer-Verlag, 2010, 362 p.

Получено 10.10.2016

Об авторах

Кузьмицкий Ярослав Олегович (Санкт-Петербург, Россия) – аспирант кафедры механики и процессов управления Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого; e-mail: yaroslav-kuzm-1990@ya.ru.

Шевченко Денис Владимирович (Санкт-Петербург, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры механики и процессов управления Санкт-Петербург-

ского политехнического университета Петра Великого; e-mail: denis.v.shevchenko@gmail.ru.

About the authors

Yaroslav O. Kuzmitskiy (Saint Petersburg, Russian Federation) – Postgraduate Student, Department of Mechanics and Control Processes, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University; e-mail: yaroslav-kuzm-1990@ya.ru.

Denis V. Shevchenko (Saint Petersburg, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Mechanics and Control Processes, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University; e-mail: denis.v.shevchenko@gmail.ru.