

НАПРЕЖЕНИЯ В БАНДАЖИТЕ НА ТРАМВАЙНИТЕ КОЛЕЛА ПРИ ОКОПАВАНЕ И НАПЛАСТЯВАНЕ НА МАТЕРИАЛ ПО ТЪРКАЛЯЩАТА ПОВЪРХНОСТ

Емил М. Михайлов
emil.mihaylov@vtu.bg

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”,
ул. „Гео Милев” 158, София 1574,
БЪЛГАРИЯ*

Ключови думи: трамвайни мотриси, напрежения, окопани и напластени бандажи.

Резюме: Статията разглежда проблема с възникващите в трамвайните бандажи напрежения при движение с едновременно окопаване и напластяване на материал по търкалящата повърхност. Явление, което се получава при временно блокиране на колооста и последвало деблокиране. Материалът отнет от търкалящата повърхност при плъзгането е напластен по нея веднага след образувалата се площадка. Тогава при търкалянето по релсите бандажите понасят два поредни удара за кратко време - по напластения материал и по площадката. Установени са напреженията в бандажа при различни скорости на движение. Напреженията са разгледани, както по фазите на процеса, така и като съществуващи едновременно поради краткото време на възникване.

УВОД

Ходовата част на трамвайните мотриси (ТМ), както и на останалите железопътни возила е подложена на големи натоварвания в сравнение с останалите елементи на конструкцията им. Елементите от ходовата част, които контактуват с релсите са бандажите на колелата. Те понасят всички натоварвания от релсите и от ходовата част. Трамвайните колела имат особена конструкция - между диска на колелото и бандажа има еластични елементи. При различните конструкции на колелата еластичните елементи имат различни разположение и форма. Тук се разглеждат колелата тип „Vochum 54”, при които еластичните елементи са гумени тампони разположени във венец между диска и бандажа.

Интерес представляват случаите на окопан бандаж в комбинация с напластяване на материал от окопаната зона в единия край на образувалата се площадка. Това се получава при временно блокиране на колооста и последвало деблокиране. Обикновено при трамваите блокиране на колоос се получава в резултат от заклиняване на буксов лагер, блокиране на зъбна предавка или лагер в колоосния редуктор, блокиране на тягов електродвигател и/или друг елемент от кинематичната верига на силовото предаване. При плъзгането на колелата се отнема материал от търкалящата повърхност на бан-

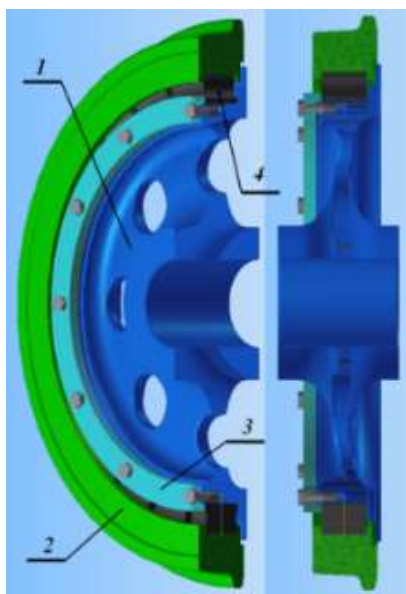
дажа и част от него се натрупва в края на площадката. След като колооста се деблокира и започне отново да се търкаля натрупания материал се отпква и валцова по търкалящата повърхност. В процеса на търкаляне на колелото първо в контакт с релсата е зоната с напластен материал и след това площадката.

ОБЩА ИНФОРМАЦИЯ

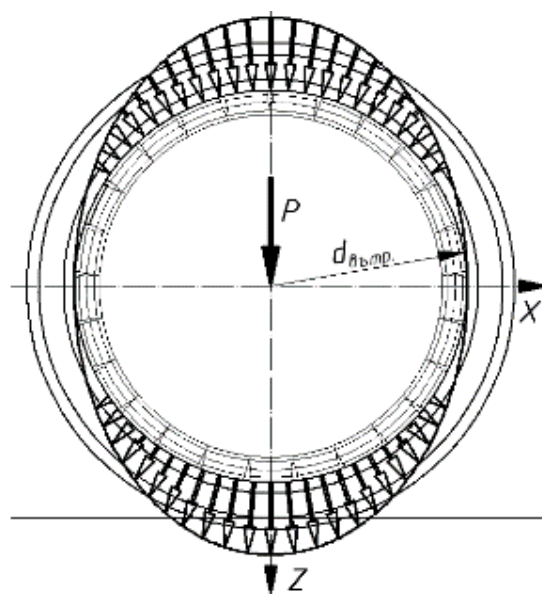
Еластичните елементи в трамвайните колелата е конструктивна особеност, която е задължителна за возилата предназначени за пътнически превози. Освен поглъщането на нискочестотните вибрации, създават възможност на бандажите да се преместват спрямо главините. Целта на еластичните елементи е да подобрят взаимодействието на колооста с пътя за сметка на намаляване на динамичните сили от необресорените маси, подобряване на плавността на хода и намаляване на шума при движение. При различните конструкции се използват гумени тампони или дискови метало-гумени пакети.

При трамваите най-широко приложение е намерила конструкцията на колела тип „Vochum 54” (фиг. 1.). Колелото има еластичните елементи (4). Те са подредени във венец между главината (1) и бандажа (2). На фигурата е показано колело разработено за произвежданите трамвайни мотриси в Завода за трамваи – София. В съвременните конструкции тампоните са променена форма като най-често имат V-образно напречно сечение.

Статичните напрежения в бандажа са от стегнатостта на сглобката и вертикалната сила от натоварването [1]. По вътрешната му повърхност от стегнатостта на сглобката има постоянно напрежение $1,9 \text{ MPa}$. Под тара (фиг. 2.) напреженията в бандажа от вертикалната сила са: по оста Z: $31,2 \text{ MPa}$ и по оста X: $-16,6 \text{ MPa}$.



Фиг. 1. Трамвайно колело тип „Vochum 54”

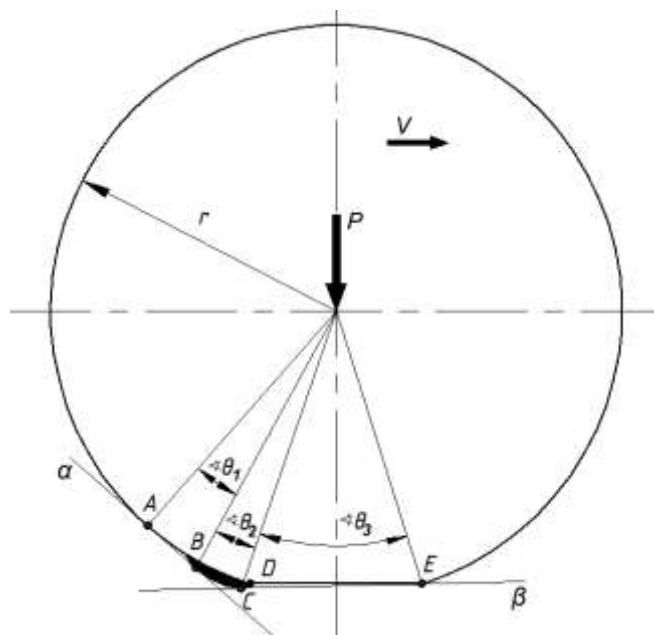


Фиг. 2. Статични напрежения в бандажа

При своята работа бандажите са подложени на различни ударни натоварвания, както от съоръжения на релсовия път [2] и различни дефекти по пътя [3, 4], така и от повреди по самите тях. Обичайните повреди предизвикващи ударни натоварвания у бандажите са окопаване и напластяване на материал по търкалящата повърхност. Може да се каже, че тези явления са добре проучени и описани в литературата. Има, обаче, случаи на едновременно окопаване и напластяване на материал по бандажите. Напластеният материал се натрупва в края на образувалата се площадка и има не разрушена

връзка с бандажа. В резултат на търкалянето на колелото този материал се валцова и залепва по повърхността.

На фигура 3. е показана схемата на колело с окопан и напластен бандаж.



- т. *A* - точка от кръга на търкаляне, която последна контактува с релсата;
- т. *B* - точка на първи контакт на напластения материал с релсата;
- т. *C* - точка на последен контакт на напластения материал с релсата;
- т. *D* - начална точка на образувалата се площадка;
- т. *E* - крайна точка на площадката;
- права α - свързва т. *A* и т. *B*;
- права β - свързва т. *C* и т. *E*.

Фиг. 3. Схема на окопан и напластен бандаж

В процеса на търкаляне на колелото първо в контакт с релсата е зоната с напластен материал и след това площадката. Така бандажа понася два удара - при срещата на точката *B* с релсата и при срещата на точката *E* с релсата.

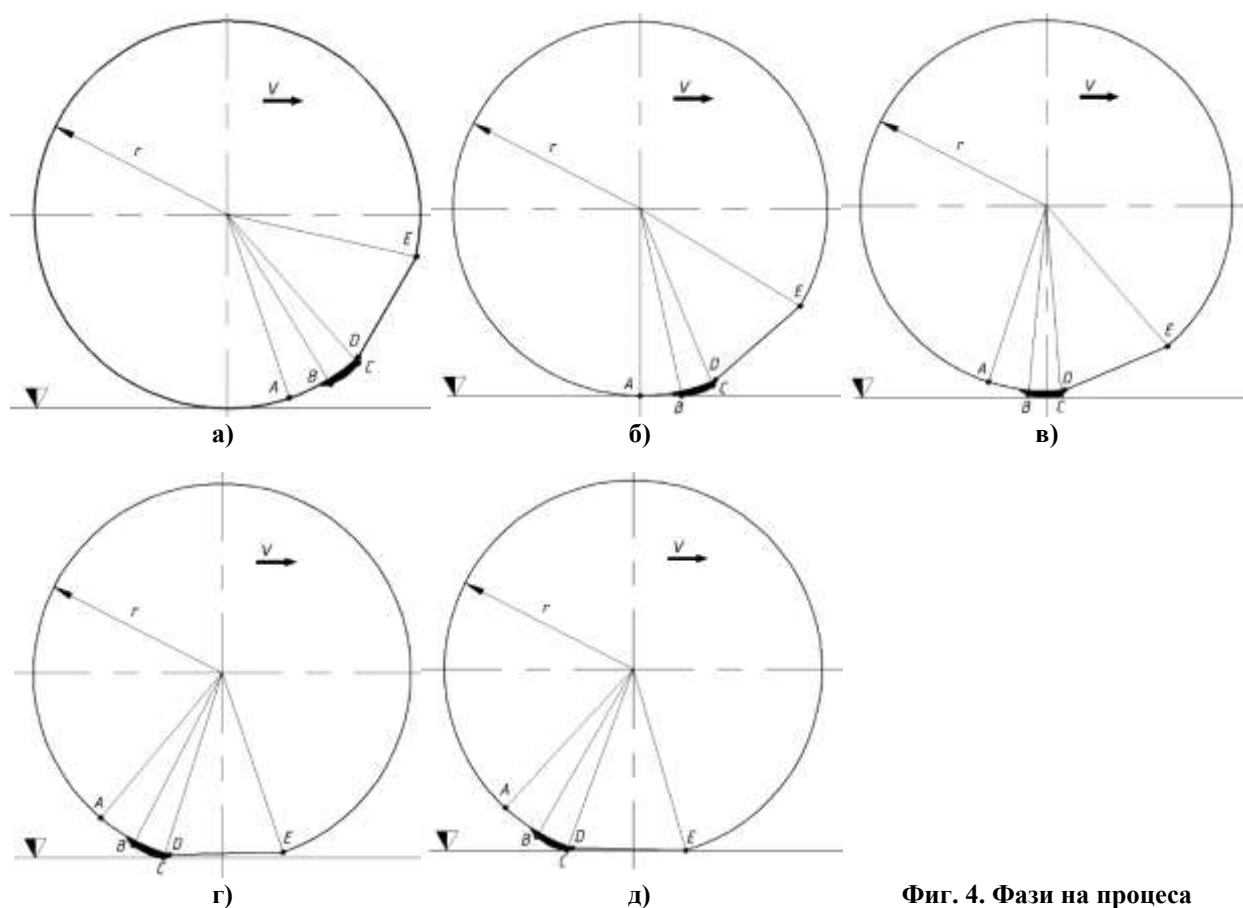
Принципно с описаната повреда на бандажите мотрисата се прибира в депо в аварийен режим с максимална скорост до 3 ms^{-1} , но е възможно повредата да не се забележи от водача и така да се завърши смяната и ТМ да се прибере в депо по разписание.

Напреженията са пресметнати по Метода на крайните елементи с *Autodesk Inventor Pro 2015*. Пресмятанията са направени за нови бандажи за скорост на движение $1, 3, 5 \text{ ms}^{-1}$, по прав хоризонтален път. Приема се усреднено натоварване за цялата мотриса 8 тона/ос и 1 тон на колело необресорена маса. Дълбочина на окопаването е $4,5 \text{ mm}$ и дебелина на напластения материал 3 mm . Не се взема под внимание вида на бандажния профил и контактуването с главата на релсата [5, 6, 7, 8] тъй като не влияе на процеса.

ПРОТИЧАНЕ НА ПРОЦЕСА

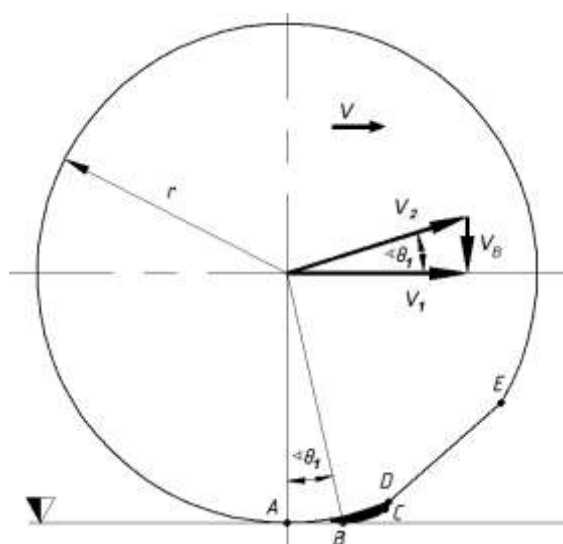
Изследваният процес протича с няколко фази (фиг. 4):

- Фаза 0 – нормално търкаляне на колелото (фиг. 4.а);
- Фаза 1 – напластения материал достига главата на релсата, контакта с релсата е в две точки - т. *A* от кръга на търкаляне и т. *B* в началото на напластения материал (фиг. 4.б);
- Фаза 2 – търкаляне на колелото по повърхността на напластения материал (фиг. 4.в);
- Фаза 3 – колелото се завърта около т. *C* - крайната точка на напластения материал (фиг. 4.г);
- Фаза 4 – завъртането около т. *C* на напластения материал завършва с удар в крайната точка на площадката - т. *E* (фиг. 4.д);
- Фаза 5 – колелото се завърта около крайната точка на окопаната площадка.

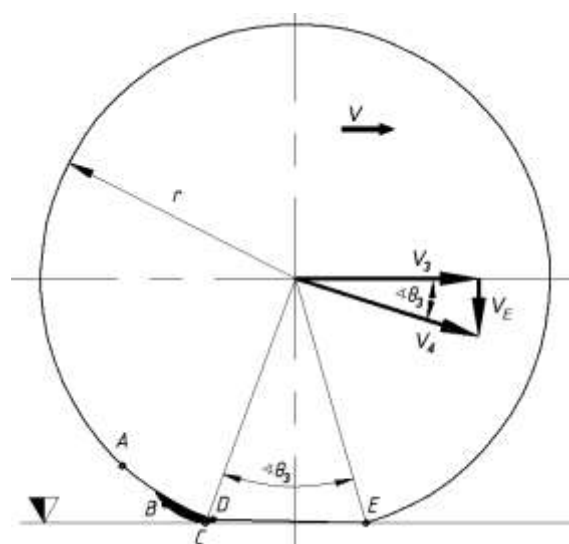


Фиг. 4. Фази на процеса

Интерес за изследването представляват фазите, при които има удар по главата на релсата, съответно от напластения материал (фиг. 5.) и от края на площадката (фиг. 6.).



Фиг. 5. Фаза 1 - удар на напластения материал по главата на релсата.



Фиг. 6. Фаза 4 - удар на края на площадката по главата на релсата.

Пресмятане на напрежения в бандажите

Пресмятанията на напреженията в бандажите са правени по зависимости, изведени от схемите на фигури 5. и 6. [9, 10, 11].

Приетото по-горе натоварване на всяко от колелата от 4 тона има постоянна реакция от релсата $P = 39,24 \text{ kN}$ и поражда в контактните точки на бандажа по кръга на търкаляне напрежение $\sigma_{rim,0} = 988,1 \text{ MPa}$.

Напрежения в бандажа при фаза 1.

Изходните данни за пресмятанията при фаза 1 са получени от зависимостите (1) и (2) и резултатите от пресмятанията са нанесени в Таблица 1.

$$(1) \quad S_B = m.V_i.\theta_1, N.s \quad (i = 1, 3, 5 \text{ ms}^{-1})$$

$$(2) \quad F_B = \frac{S_B}{t_i}, N \quad (i = 1, 2, 3)$$

където: S_B – ударен импулс в т. B;

m – необресорена маса падаща се на едно колело;

V_i – скорост на движение;

θ_1 – ъгъл определен от точките на контакт спрямо центъра на колелото;

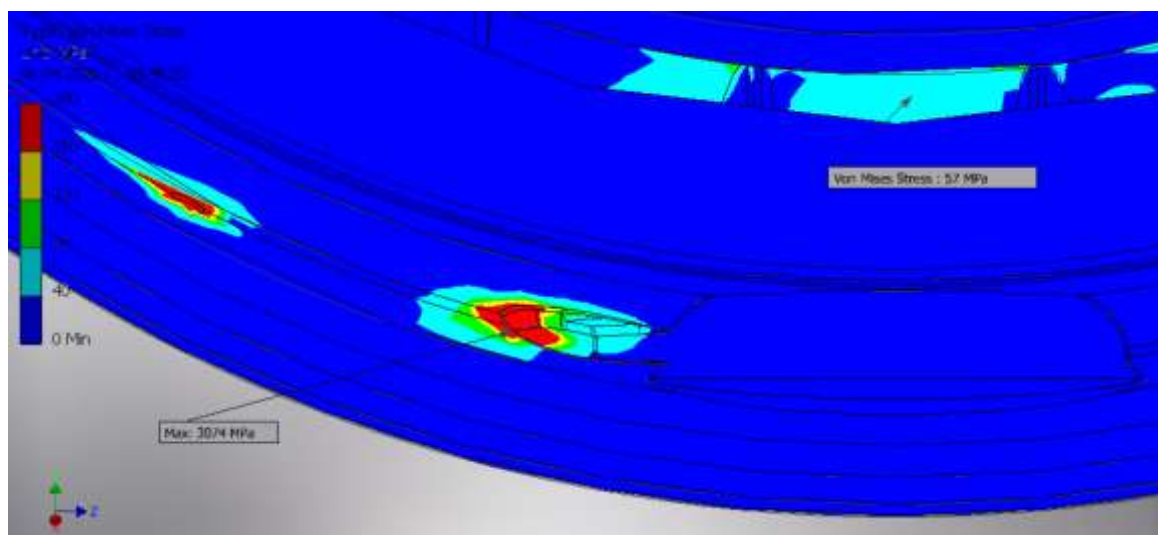
F_B – сила на удара в т. B;

t_i – време, за което колелото прави един оборот при различните скорости.

Таблица 1.

V_i, ms^{-1}	P, kN	θ_1, deg	$S_B, \text{kN.s}$	F_B, kN	t_i, s	$\sigma_{rim,B}, \text{MPa}$
1	39,24	9	0,157	40,84	2,07345	1 583
3	39,24	9	0,471	53,66	0,69115	2 080
5	39,24	9	0,785	79,31	0,41469	3 074

На фигура 8. са показани напреженията в бандажа във фаза 1 при скорост на движение 5 ms^{-1} , при скала на фигурата до 200 MPa .



Фиг. 8. Напрежение в бандажа във Фаза 1 при скорост 5 m.s^{-1}

Напрежения в бандажа при фаза 4.

Изходните данни за пресмятанията при фаза 4 са получени от зависимостите (3) и (4) и резултатите от пресмятанията са нанесени в Таблица 2.

$$(3) \quad S_E = m.V_i.\theta_3, N.s \quad (i = 1, 3, 5 \text{ ms}^{-1})$$

$$(4) \quad F_E = \frac{S_E}{t_i}, N \quad (i=1,2,3)$$

където: S_E – ударен импулс в т. E ;

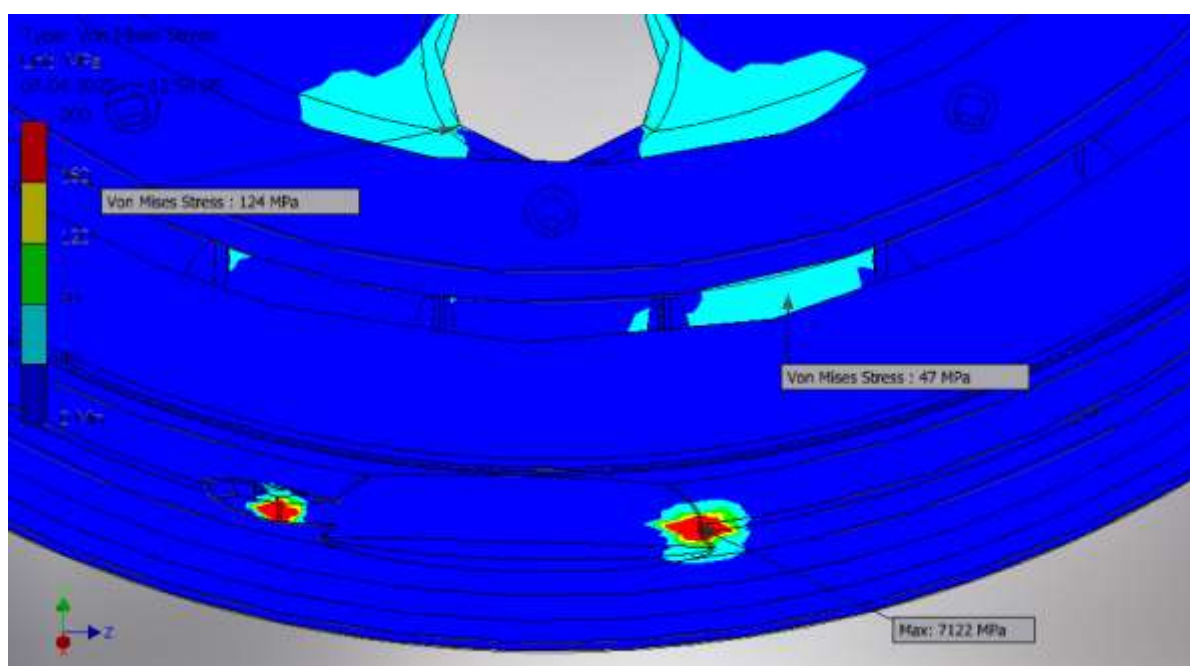
θ_3 – ъгъл определен от точките на контакт спрямо центъра на колелото;

F_E – сила на удара в т. E .

Таблица 2.

V_i, ms^{-1}	P, kN	θ_3, deg	$S_E, kN.s$	F_E, kN	t_i, s	$\sigma_{rim,E}, MPa$
1	39,24	16	0,279	42,09	2,07345	2 684
3	39,24	16	0,838	64,89	0,69115	4 138
5	39,24	16	1,396	110,48	0,41469	7 122

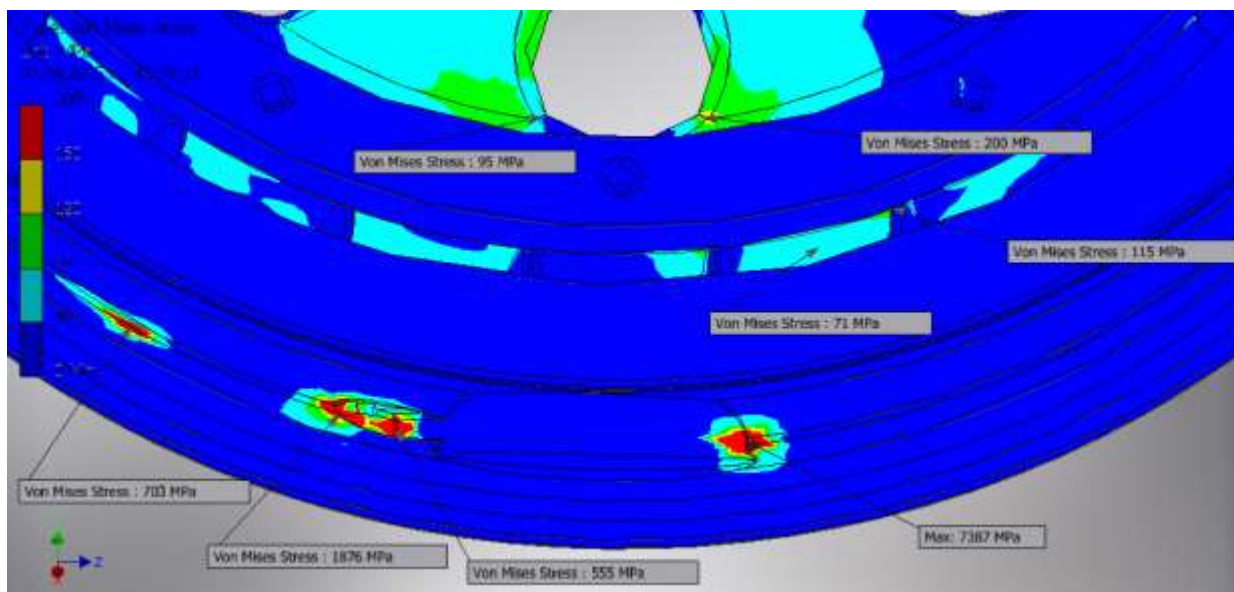
На фигура 9. са показани напреженията в бандажа във фаза 4 при скорост на движение $5 ms^{-1}$, при скала на фигурата до $200 MPa$.



Фиг. 9. Напрежение в бандажа във Фаза 4 при скорост $5 m.s^{-1}$

Напрежения в бандажа при целия процес.

Като се има предвид краткото време за завъртане на колелото на един оборот фазите на процеса са на в пренебрежимо кратък интервал. Тогава може да се допусне, че силите имат едновременно действие. На фигура 10. е показана симулация на едновременното действие на силите при скорост на движение $5 ms^{-1}$, и породените от това напрежения в бандажа, главината на колелото и еластичните елементи.



Фиг. 10. Напрежения в бандажа при едновременно действие на силите при скорост 5 m.s^{-1} .

От симулацията се вижда, че действието на ударните сили в много кратък интервал от време води до по-високи стойности на напреженията в бандажа. Същевременно еластичните елементи не успяват да погълнат деформациите в следствие на ударните сили и ги предават към главината на колелото. Еластичната връзка с главината поражда периодично повтаряща се деформация в бандажа, това води до периодично разхлабване и на сглобката и възможност за разрушаване на еластичните елементи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Макар и рядко в практиката се среща описания тук процес. Високите стойности на напреженията водят до благоприятни условия за поява и на микроразрушения предимно при върховете на ребордите. Обединяването им в една пукнатина и развитието ѝ до размер съпоставим с площта на сечението на бандажа създава опасност за разрушаването му.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Йорданов К., „Върху надеждността на трамвайните бандажи”, Д, ВМЕИ „Ленин”, София, 1988 г.
- [2] Emil M. Mihaylov, Dobrinka Atmadzhova, Emil Iontchev, „Investigation of the interaction between tram wheels and the road when passing through a crossing at a right angle”, XVIII Scientific - Expert Conference RAILCON'18, Ниш, Сърбия, 2018 г., ISBN 978-86-6055-105-6, стр. 33 - 36
- [3] Емил М. Михайлов, „Дерайлиране на трамвайни мотриси в следствие на последователно подскачане или пропадане на колелата от едната страна”, МНК „Техника и строителни технологии в транспорта – 2020”, ВТУ „Т. Каблешков”, Велинград, 2020 г., МТС АЖ, ISSN 1312- 3823, ISSN 2367-6620, том 18, брой 3/3, 2020 г., № 1950.
- [4] Emil M. Mihaylov, Vladimir Zhekov, Milcho Lepoev, „Напрежения в бандажите на трамвайните колела при преминаване върху чуждо тяло в улея на релсите”, XXVIII НТК „Транспорт, екология – устойчиво развитие”, ТУ - Варна, Варна, 2022 г.
- [5] Жеков В., „Анализ на контактните повърхности при бандажни профили T81 и PRSf - 2018 с профили на релси, използвани в градския релсов път на град София“, „Механика Транспорт Комуникации”, ВТУ „Т. Каблешков”, София, 2023 г., МТС АЖ, ISSN 1312- 3823, ISSN 2367-6620, том 21, брой 3/1, 2023 г., № 2420.

- [6] Vladimir Zhekov, „Study of the interaction between the RPSf 2018 rim profile and rail profiles applied in the tram track of the city of Sofia“, AIP Conf. Proc. 3104, 020008 (2024), <https://doi.org/10.1063/5.0199062>
- [7] Zhekov V., „Study of the contact between design profiles of rails and rims used in the tram track of the city of Sofia“, XI International Scientific Conference Heavy Machinery HM 2023, Vrnjačka Banja, Сърбия, 2023 г.
- [8] Lepoev M., Zhekov V., „Study of the interaction of a modified rim profile with rail profiles in the tram track of the city of Sofia“, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1297, National transport infrastructure conference with international participation, 05/10/2023 - 07/10/2023, Nessebarq Bulgaria, DOI 10.1088/1757-899X/1297/1/01201.
- [9] Ружеков, Т. и кол., Конструкция, теория и проектиране на локомотиви., С. Техника, 1985.
- [10] Бородин А., Иванов В., „Теоретическое исследование напряженно-деформированного состояния колеса грузового вагона при прохождении рельсового стыка“, Омский научный вестник, № 3, 2009 г.
- [11] Шпачук В.П., Коваленко А.В., „Ударное и динамическое взаимодействие трамвая с принимающим рельсом в месте изолированной стыковой неровности с учетом эксплуатационных факторов“, Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.51. – К.: Техніка, 2004. – С.229–235, Харьков, Украина, 2004 г.

STRESSES IN TRAM WHEEL TIRES WITH FLAT SPOTS AND MATERIAL BUILD-UP ON THE ROLLING SURFACE

Emil M. Mihaylov, Ph.D. M.Eng.

emil.mihaylov@vtu.bg

**„Todor Kableshkov“ University of Transport,
158 Geo Milev Street, Sofia 1574,
BULGARIA**

Keywords: trams, tram rims, stresses, polygonal wear, layered rims

Abstract: *This paper examines the problem of stresses arising in tram wheel tires when there is simultaneous formation of flat spots and build-up of material on the rolling surface. This phenomenon occurs when the wheelset is temporarily locked (skids) and then unlocked. The material that is removed from the rolling surface while the wheel is skidding immediately re-adheres just beyond the newly formed flat spot. As the wheel continues rolling on the rails, the wheel tire is subjected to two successive impacts in a very short time - first on the deposited material, then on the flat spot. The paper determines the stresses in the wheel tire under various operating speeds. The stresses are analyzed both in distinct phases of the process and as effectively concurrent, given the short duration in which they arise.*