

© В.П. Франчук¹, Д.В. Лаухін¹, К.А. Зіборов¹, Н.О. Ротт¹, С.О. Федоряченко¹
¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ВПЛИВ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ, ЩО ВІДБУВАЮТЬСЯ В ЗОНІ РУХОМОГО КОНТАКТУ, НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ МАТЕРІАЛІВ

© V. Franchuk¹, D. Laukhin¹, K. Ziborov¹, N. Rott¹, S. Fedoriachenko¹
¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

INFLUENCE OF THERMOPHYSICAL PROCESSES OCCURRING IN THE ZONE OF MOVING CONTACT ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE SURFACE LAYER OF MATERIALS

Мета. Визначення механічних властивостей поверхневого шару матеріалів і фізичних процесів, що відбуваються в зоні фрикційної взаємодії пари колесо-рейка.

Методика. На основі теоретичних досліджень параметрів руху транспортного засобу по рейковому шляху сформульована математична модель взаємодії колеса і рейки на елементарній площадці контакту при наявності нормального і тягового зусилля. Досліджено характер зміни фазового складу і неоднорідність структурного стану, які можуть призводити до зниження механічних властивостей пари колесо-рейка і зменшення загальної експлуатаційної надійності цих виробів. Досліджено структурний стан обода колеса після різних режимів термічної обробки. Запропоновано режим термічної обробки, що полягає в диференціальному охолодженні обода колеса на вертикальній гартують машині зі зміною інтенсивності тепловідведення, який дозволяє отримати однорідну структуру по перетину обода колеса, а також підвищити його механічні характеристики.

Висновки. При взаємодії тіл з рухомою точкою контакту необхідно враховувати фізико-механічні властивості поверхневих шарів, які відрізняються від властивостей матеріалу, що знаходиться на значній відстані від його поверхні. Ця різниця виникає в результаті хімічних і структурних перетворень, механічних і термічних впливів, зносу і контактної втоми матеріалів поверхні пари тертя колесо-рейка. Запропоновано режими термічної обробки, які забезпечують структурну однорідність і дозволяють підвищити механічні властивості обода колеса.

Практична значимість. Отримано залежність, що описує зміну середньої температури в зоні контакту пари колесо-рейка від швидкості руху рейкового транспортного засобу. Поточне значення модуля пружності матеріалу пари тертя визначається як функція часу контакту. Описано режими термічної обробки сталей, які дозволяють отримати хімічну однорідність по перерізу.

Ключові слова: *поверхневий шар, температура, пара тертя, рухливий контакт, структурний стан, термічна обробка, механічні властивості.*

Вступ. Силова взаємодія твердих тіл при терті крім його впливу на зміну форм взаємодіючих поверхонь, обумовлює енергетичні втрати при роботі машин, а також при здійсненні різноманітних технологічних процесів. В основі процесу зчеплення лежать фрикційні взаємодії, які здійснюються між цими ланками і зовнішнім середовищем [1, 2].

Взаємодія тіл з рухомою точкою контакту (для транспортних засобів це перш за все взаємодія вихідних ланок із зовнішнім середовищем, але також і при передачі руху між ланками механізмів, що утворюють кінематичні пари) являє собою основу фізичних процесів, пов'язаних з переміщенням вантажів, а також процесу кочення, що супроводжується зчепленням і реалізацією сили тяги або гальмування при виконанні основного робочого процесу [2, 3].

Тертя впливає на результат різних видів складної взаємодії тіл, під час якої відбуваються механічні, фізико-хімічні, електричні процеси та ін. Пізнання природи тертя дає можливість отримати засоби і способи підвищення норм маси транспортних засобів, збереження стійкості їх руху та зниження зносу вихідних ланок і поверхонь, з якими вони контактують.

Тому облік умов фрикційної взаємодії вихідних ланок транспортних засобів і зовнішнього середовища у взаємозв'язку з поверхневими явищами, що відбуваються на контактуючих елементах, а також їх вплив на механічні властивості матеріалів фрикційної пари, має важливе значення для вирішення проблеми підвищення тягово-гальмівних характеристик, надійності і безпеки руху, скорочення експлуатаційних витрат і, в цілому, збільшення продуктивності промислових підприємств.

Мета роботи полягає в визначенні механічних властивостей поверхневого шару матеріалів та фізичних процесів, що відбуваються в зоні фрикційної взаємодії пари колесо-рейка.

Матеріали та результати досліджень. Коефіцієнт зчеплення – це відношення тягового зусилля Q_{xy} так зване зусилля опору, прикладеного по дотичній до поверхні, яка контактує, до сили нормального тиску на цю поверхню Q_z :

$$f = \frac{Q_{xy}}{Q_z} = \frac{\tau}{p} \leq \mu_0, \quad (1)$$

де τ – зсувні напруги, що виникають на майданчику контакту; μ_0 – коефіцієнт граничного тертя.

Вид і стан поверхні контактуючих тіл, температура поверхні на майданчику контакту, наявність або відсутність мастила, геометричні та реологічні характеристики контактуючих тіл, характер прикладання навантаження та вид напруженого стану матеріалу на майданчику контакту – це найважливіші фактори від яких залежить коефіцієнт зчеплення.

Рух вихідних ланок транспортних засобів характеризується поєднанням різних співвідношень швидкості руху V_1 і окружної швидкості обертання V_2 . Ці співвідношення можна характеризувати величиною відносного ковзання (прослизання).

Явище ковзання було описано О. Рейнольдсом. Він виявив, що область фрикційної взаємодії розбивається на зони зчеплення і ковзання, що визначаються силами тертя і пружними деформаціями. Рейнольдс також вперше встановив експериментальну різницю між довжиною шляху, що проходить колесо за один оборот, і довжиною його окружності. Формально швидкість ковзання визначається як векторна різниця швидкостей в точці дотику поверхонь 1 та 2 (рис. 1):

$$\bar{V}_k = \bar{V}_2 - \bar{V}_1. \quad (2)$$

Відстань, яку проходить точка одного тіла по поверхні іншого за час безперервного контакту, при коченні з проковзуванням не дорівнює добутку швидкості руху V_1 на час. Для ідеально твердих тіл це переміщення відсутнє, тому що, при як завгодно малій зміні кута повороту відбувається зміна контактуючих точок на обох тілах.

Таким чином, при кожному оберті колеса 1 на опорному майданчику його на рейці 2 під дією зовнішніх сил і внутрішньої енергії матеріалу виникають пружні і пластичні деформації, внаслідок чого елементи фрикційної пари колесо-рейка вступають в контакт по майданчику кінцевих розмірів (рис. 1).

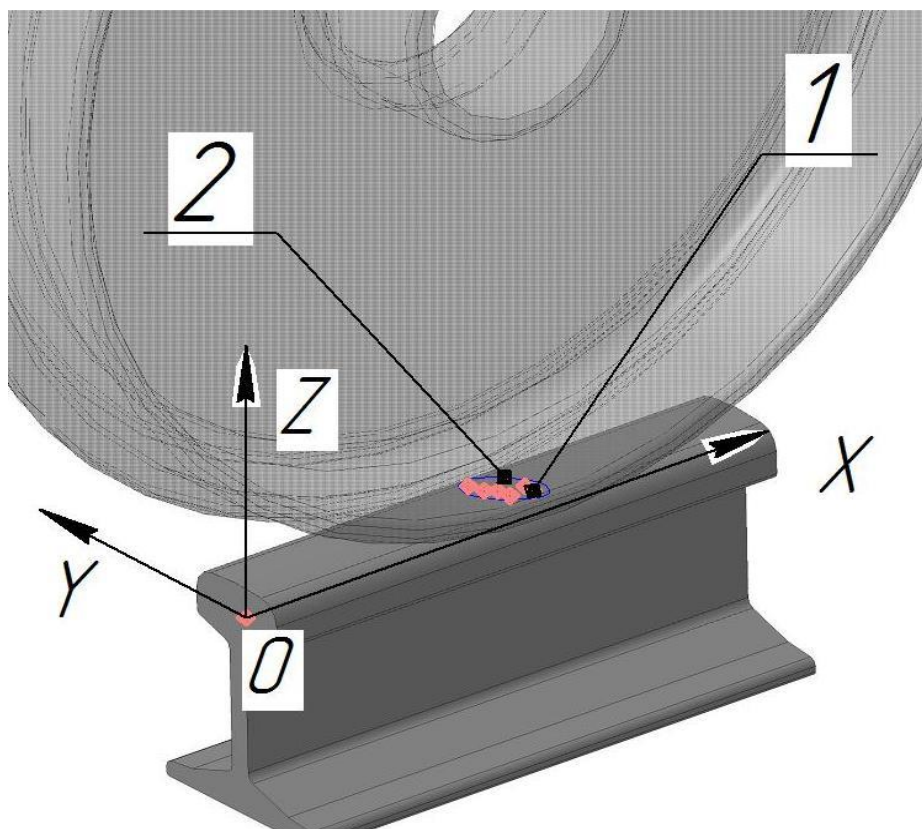


Рис. 1. Опорна поверхня фрикційної пари колесо-рейка

Контакт реальних поверхонь твердих тіл має дискретний (у вигляді плям) характер, обумовлений нерівностями цих поверхонь: відхиленням форми, хвилястістю, шорсткістю. Реальні поверхні вихідних ланок транспортного засобу і зовнішнього середовища завжди мають дефекти у вигляді виступів і западин. Вони утворюються в процесі виготовлення деталей вихідних ланок (їх точіння, фрезерування і шліфування) і далі розвиваються в результаті самої фрикційної взаємодії (рис. 2). Висота нерівностей і глибина западин на поверхнях взаємодії вихідних ланок різноманітна і коливається від декількох десятків мікрон до міліметрів. Тому реальна площа контакту (термін в трибології «площа істинного контакту») в 10–10000 раз менше номінальної, обмеженою контуром дотичних тіл [4].

Це призводить до того, що в кожен момент часу, не тільки діють різні сили натискання колеса на рейку (Q_z), але і змінюються форма і розміри опорної площадки (рис. 2).

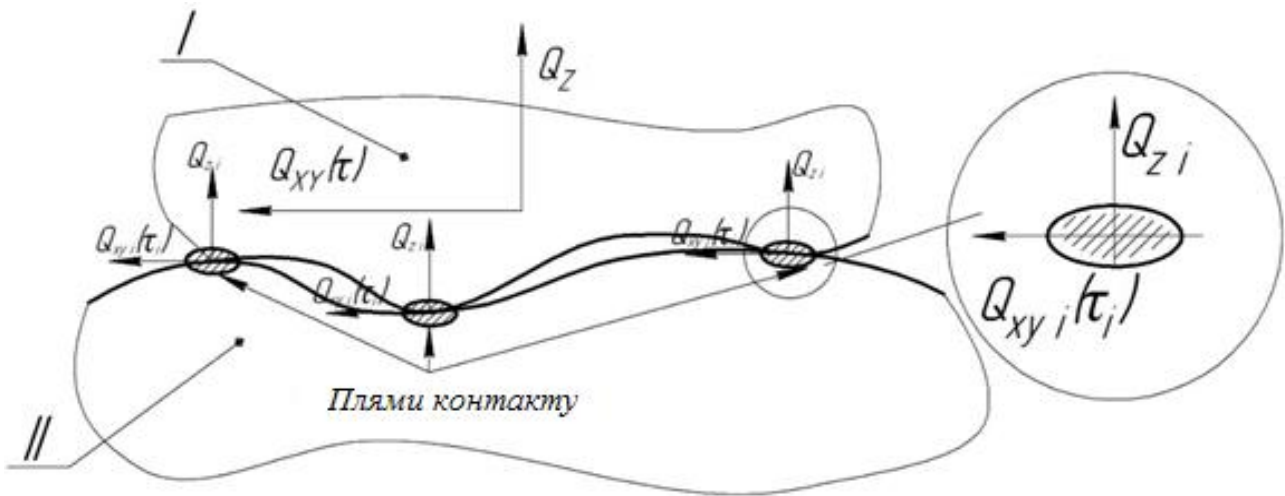


Рис. 2. Характер контактної взаємодії реальних поверхонь

В результаті взаємодії з навколишнім середовищем поверхні твердих тіл 5, що труться (рис. 3) можуть бути покриті різними плівками 1–4, які утворюються внаслідок окисного процесу, фізичної адсорбції і хемосорбції. При взаємодії (стиранні поверхонь) окисний шар може механічно руйнуватися, звільняючи область з чистою поверхнею матеріалу ланок фрикційної пари.

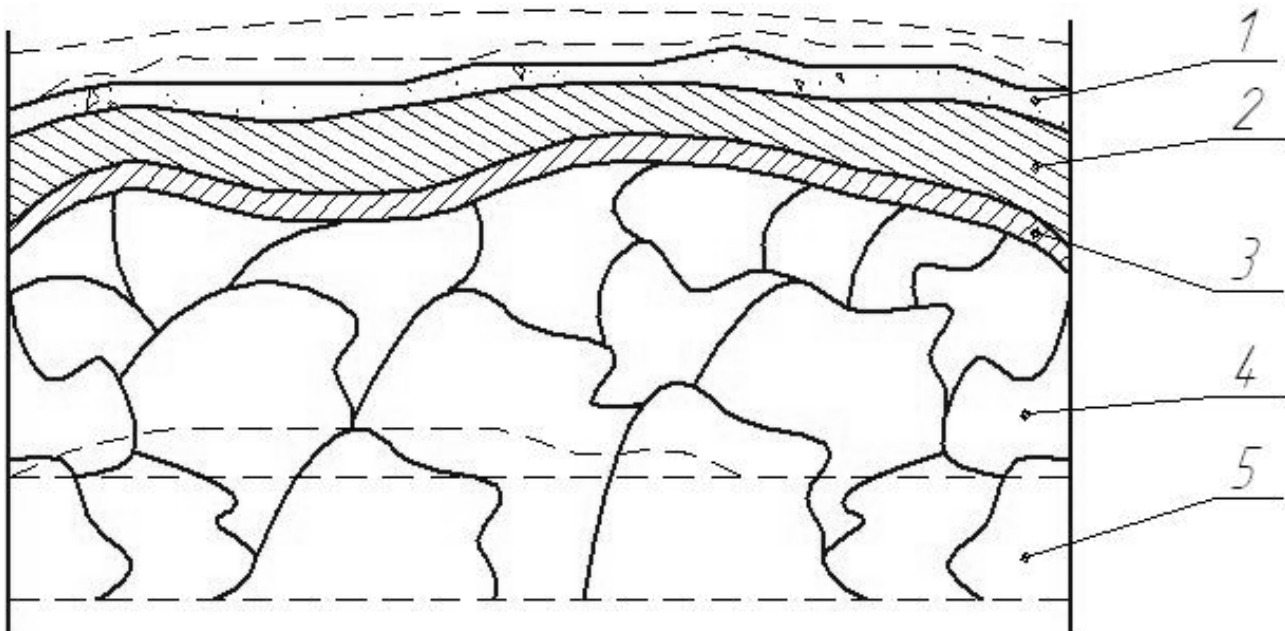


Рис. 3. Схема будови поверхні твердого тіла: 1 – адсорбований шар; 2 – оксиди; 3 – гранична зона; 4 – зона матеріалу зі зміненими фізико-механічними властивостями; 5 – основний матеріал

Результатом високих фактичних тисків і швидкостей ковзання є порушення енергетично рівноважного стану фрикційної пари, що викликає появу значних температур в областях взаємодії і призводить до суттєвих змін властивостей поверхневих шарів, викликаючи в них механічні та температурні напруги, сприяючи протіканню хімічних реакцій, активізуючи взаємну дифузію [1, 2]. У поверхневих шарах матеріалів фрикційної пари (в першу чергу вихідних ланок транспортних засобів), що зазнають великі деформації, відбувається утворення і зростання тріщин, накопичення втоми, що в кінцевому рахунку, змінює їх геометрію і порушує умови нормального функціонування.

Колесо, що рухається по рейці може перебувати у трьох режимах: $Q_{xy} = 0$ – вільному, $Q_{xy} < 0$ – гальмівному або $Q_{xy} > 0$ – тяговому режимі. З виразу (1) випливає, що при $\tau = 0$ коефіцієнт зчеплення також буде дорівнювати нулю. А при збільшенні зсувного навантаження спостерігається збільшення коефіцієнта зчеплення. При цьому на майданчику фактичного контакту (рис.2) відбуваються найбільш локалізовані в незначному поверхневому шарі процеси.

При збільшенні граничної величини τ і постійному часі її зростання до цієї межі, швидкість деформування буде збільшуватися. Якщо деформація перевищує деяку величину, відбувається, так званий, зрив зчеплення, і збільшення швидкості відносної деформації призводить до зменшення коефіцієнта зчеплення та виділення тепла на окремих плямах контактуючих поверхонь.

Як показує вищезазначений аналіз при вивченні цих процесів необхідно враховувати фізико-механічні властивості поверхневих шарів, які відрізняються від властивостей матеріалу, розташованого на значній відстані від його поверхні. Ця різниця з'являється в результаті хімічних і структурних перетворень, механічного та теплового впливу, зносу і контактної втоми матеріалів взаємодіючих поверхонь фрикційної пари колесо–рейка.

Підвищення температури істотно впливає на такі механічні характеристики конструкційних матеріалів, як повзучість і тривала міцність. Повзучість супроводжується релаксацією напруги – мимовільним зменшенням напруги з часом при незмінній деформації. Швидкість релаксації напруги зростає при підвищенні температури. Температурний коефіцієнт лінійного розширення $\alpha = \frac{1}{r} \frac{dr}{dT}$ і тем-

пературний коефіцієнт модуля пружності $\eta = \frac{1}{E} \frac{dE}{dT}$ пов'язані між собою співвід-

ношенням $\eta + \alpha \cdot m = 0$ або $(\eta/\alpha) = -m = const$, де r і m – постійні, що характеризують параметри кристалічної решітки [5].

У літературі [6] відомо опис залежності, яка описує вплив температури на безрозмірний параметр, що характеризує відношення поточного значення модуля пружності матеріалу до модуля пружності при нормальній температурі:

$$E = E_0 \exp \left[\alpha_1 \left(1 - \frac{T_{II} - T_0}{T_{II} - T} \right) \right], \quad (3)$$

де E_0 – модуль пружності при нормальній температурі T_0 ; T_{II} – температура пластичності сталі; α_l – коефіцієнт пропорційності.

При дослідженні процесу контакту колеса з рейкою цей факт може грати велике значення, оскільки температура поверхонь в центрі плями контакту може перевищувати температуру навколишнього середовища на кілька сотень градусів [3, 7], і при високих температурах, незважаючи на короткий термін її дії, метал змінює свої властивості. Номінальна твердість бандажа колісної пари HB_1 транспортного засобу менше ніж у рейки HB_2 , тому при аналізі процесу приробітку деформується м'якший матеріал – бандаж колеса.

Аналітичний опис того, що відбувається переміщення шарів матеріалу контактуючих поверхонь має ґрунтуватися на істотно нелінійних співвідношеннях між діючими силами, деформаціями і відносним ковзанням матеріалів. Ці закони повинні характеризувати несталий стан матеріалів бандажа і рейки при нестационарних режимах роботи (особливо при зриві зчеплення), а також враховувати здійснюочу при цьому роботу.

Розглянемо більш докладно процес взаємодії при наоченні колеса на ділянку рейки. Як зазначено в [3] контакт буде здійснюватися по майданчику кінцевих розмірів, що має форму еліпса з великою і малою піввісями, відповідно, a і b .

При нагріванні тіла на величину ΔT його відносне подовження складе $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$. Тобто залежність подовження від температури підкоряється закону $\varepsilon = \alpha_0 \Delta T$. Можлива і зворотна задача: при миттєвій деформації, коли енергія деформації не встигає розсіятися, температура тіла підвищиться на величину

$$\Delta T = \frac{\varepsilon}{\alpha_0}.$$

З урахуванням розсіювання енергії, залежність буде мати вигляд $\Delta T = e^{-kt} \frac{\varepsilon}{\alpha_0}$

З огляду на те, що напруги в тілі $\sigma = E\varepsilon$, можна записати:

$$\Delta T = e^{-kt} \frac{\sigma}{E\alpha_0}, \quad (4)$$

де k – коефіцієнт, що характеризує розсіювання енергії; t – час; σ – напруги; E – модуль пружності матеріалу; α_0 – коефіцієнт теплового розширення.

Час t тривалості контакту одного часу взаємодії колеса з рейкою в межах зони контакту t_u , тобто $t_u = \frac{2a}{V_1}$, причому усереднена температура (без урахування зміни модуля пружності) за цей час буде:

$$\Delta T = \frac{1}{4} e^{-kt} \frac{1,5Q}{\pi ab E_{np} \alpha_0} \int_{-1}^1 \sqrt{1-\xi_x^2} d\xi_x \int_{-1}^1 \sqrt{1-\xi_y^2} d\xi_y, \quad (5)$$

Або, після інтегрування:

$$\Delta T = 0,9255e^{-kt} \frac{1,5Q}{\pi ab E_{np} \alpha_0}, \quad (6)$$

На рис. 4 представлена залежність, яка описує зміну усередненої температури на плямі контакту пари колесо–рейка від швидкості руху рейкового транспортного засобу. Як видно з графіка, із збільшенням швидкості руху рейкового транспортного засобу, температура в зоні контакту також майже лінійно зростає до швидкості 10-15 м/с. При швидкості 40-60 м/с крива виполажується, тобто температура в зоні контакту майже не змінюється.

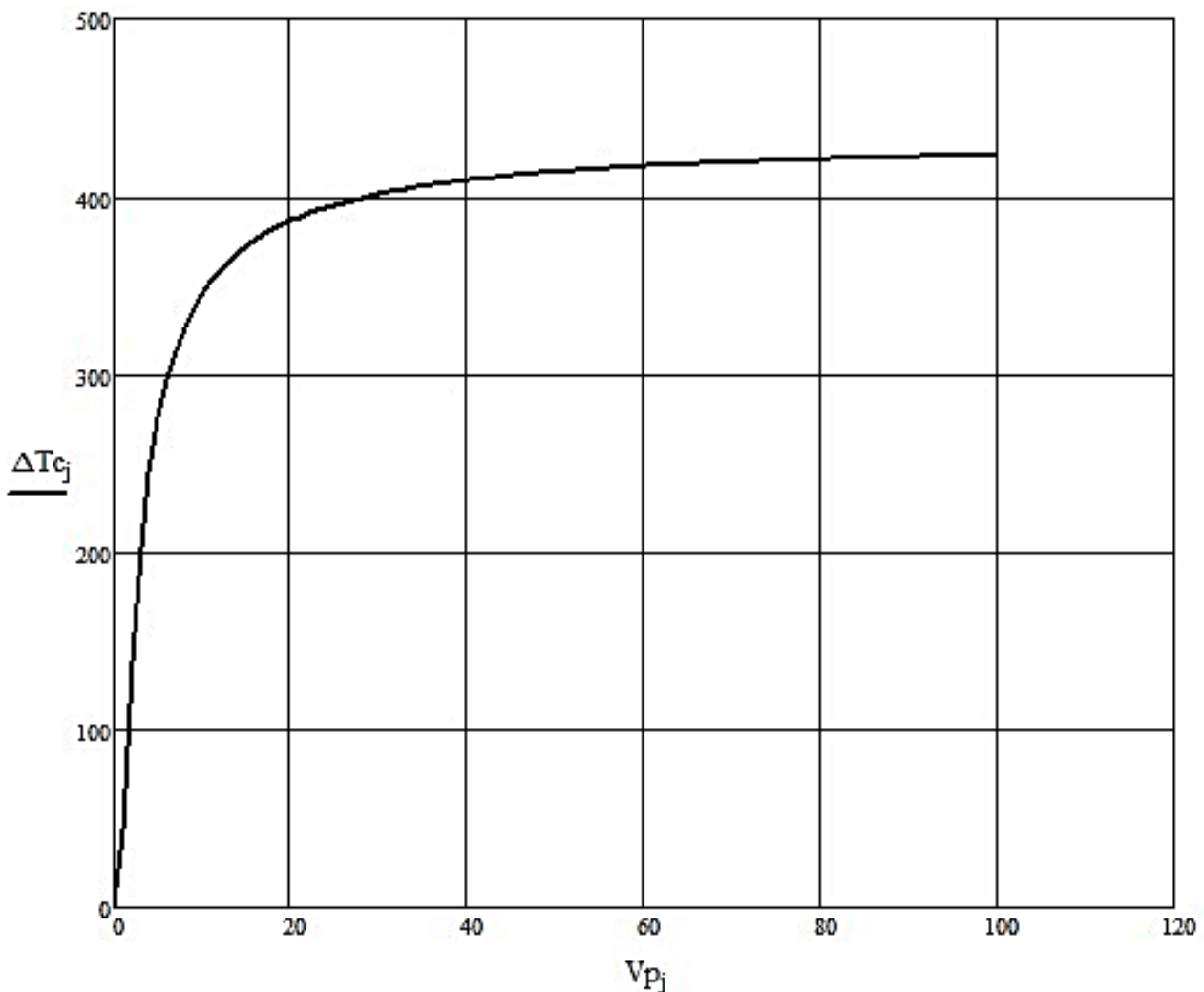


Рис. 4. Значення усередненої температури на плямі контакту від швидкості руху рейкового транспортного засобу

Перетворимо рівняння (3) до виду:

$$E = E_0 \exp \left[\alpha_1 \frac{\Delta T}{T_{п} - T_0 - \Delta T} \right], \quad (7)$$

де ΔT – перевищення температури контакту над нормальною (T_0); E_0 – наведений

модуль пружності при початковій температурі (20°C).

Як впливає з матеріалів [3, 5, 6], модуль пружності матеріалу впливає, в основному, на коефіцієнти α і λ , причому зменшення модуля пружності прямо пропорційно впливає на зменшення коефіцієнту α і зворотно пропорційно до зміни λ .

Модуль пружності матеріалу в залежності від швидкості руху рейкового транспортного засобу:

$$E = E_0 \exp \left\{ \frac{-\alpha_1 \frac{0,9255Q}{\pi a b \alpha_T E_0} \exp \left(-k \frac{a}{V} \right)}{T_{II} - T_0 - \frac{0,9255Q}{\pi a b \alpha_T E_0} \exp \left(-k \frac{a}{V} \right)} \right\}, \quad (8)$$

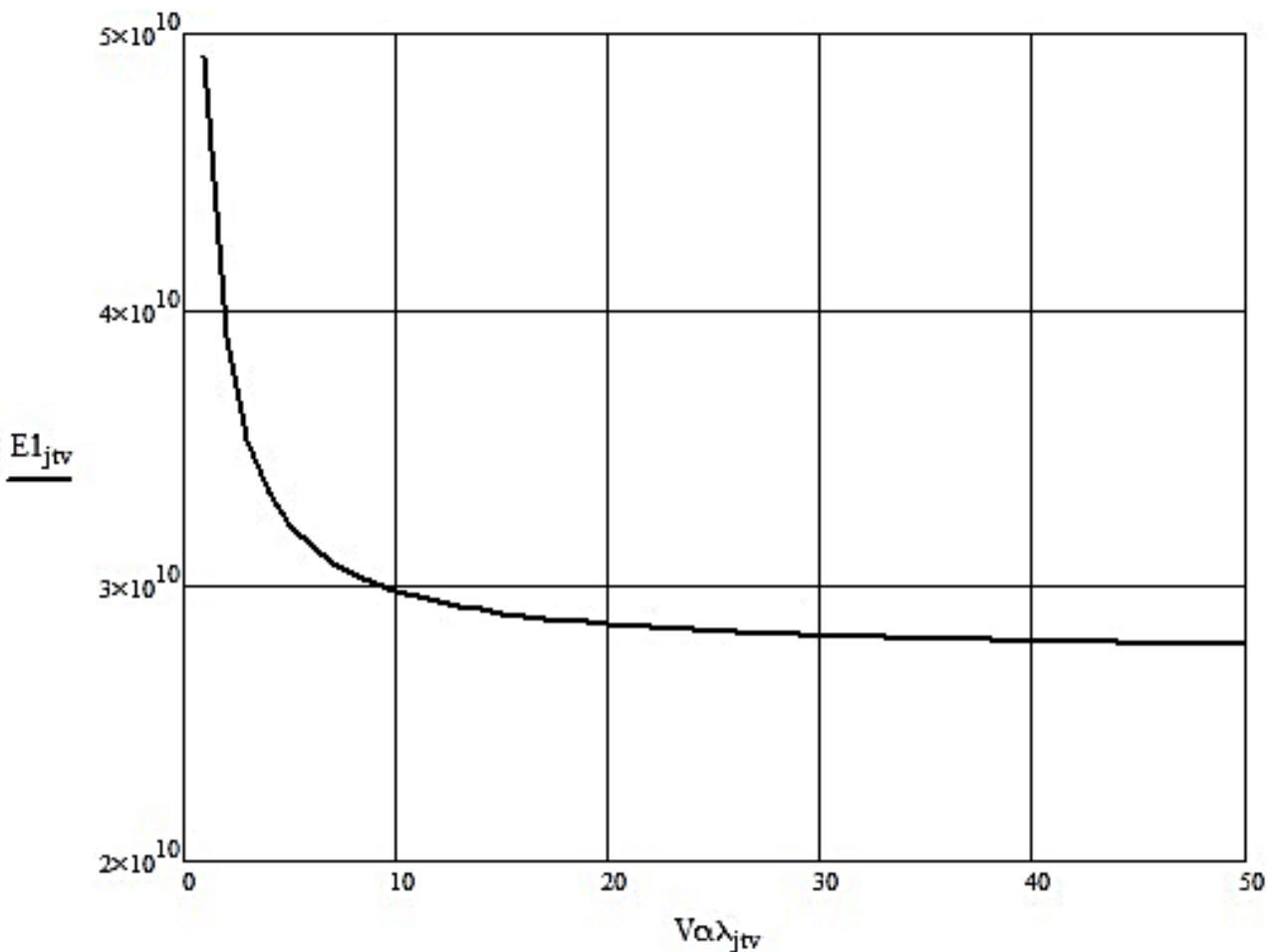


Рис. 5. Залежність значення наведеного модуля пружності фрикційної пари колесо-рейка від швидкості руху рейкового транспортного засобу

На рис. 5 представлений графік залежності наведеного модуля пружності пари колесо-рейка від швидкості руху рейкового транспортного засобу. Як видно з графіка, із збільшенням швидкості руху рейкового транспортного засобу, внаслідок підвищення температури в зоні контакту, модуль пружності спочатку знижується досить інтенсивно, а при швидкості 18–20 м/с – крива виполажується, тому що температура в зоні контакту стабілізується.

Авторами роботи [8] було досліджено особливості розпаду аустеніту при охолодженні сталей для залізничних коліс різного хімічного складу. У місцях з підвищеною концентрацією хімічних елементів кінетика фазових перетворень при прискореному охолодженні з аустенітного стану в процесі термічної обробки може відрізнятися від кінетики розпаду в сусідніх мікрооб'ємах зі зниженою концентрацією хімічних елементів. Зміна фазового складу і неоднорідність структурного стану можуть призводити до зниження механічних властивостей ободів залізничних коліс та зменшення загальної експлуатаційної надійності цих виробів.

У роботі [8] наведені результати дослідження впливу швидкості охолодження на формування структурного стану та рівень механічних властивостей сталей для залізничних коліс з різним вмістом вуглецю від 0,63 до 0,68%. Встановлено, що для сталі з вмістом вуглецю 0,63% ділянки зі структурою бейніту спостерігали при швидкостях охолодження більших за 14°C/с, а з подальшим зменшенням швидкості охолодження до 5°C/с структурні складові та їх співвідношення суттєво не змінювались та являли собою 96...97% перліту та 3...4% до-евтектоїдного фериту. При охолодженні сталі з вмістом вуглецю 0,68% зі швидкістю охолодження 17°C/с структури бейніту спостерігали у кількості до 10%. При зменшенні швидкості охолодження формуються структури фериту та перліту. Швидкість охолодження 0,02°C/с приводить до утворення максимальної кількості фериту до 10% та крупнопластинчатого перліту.

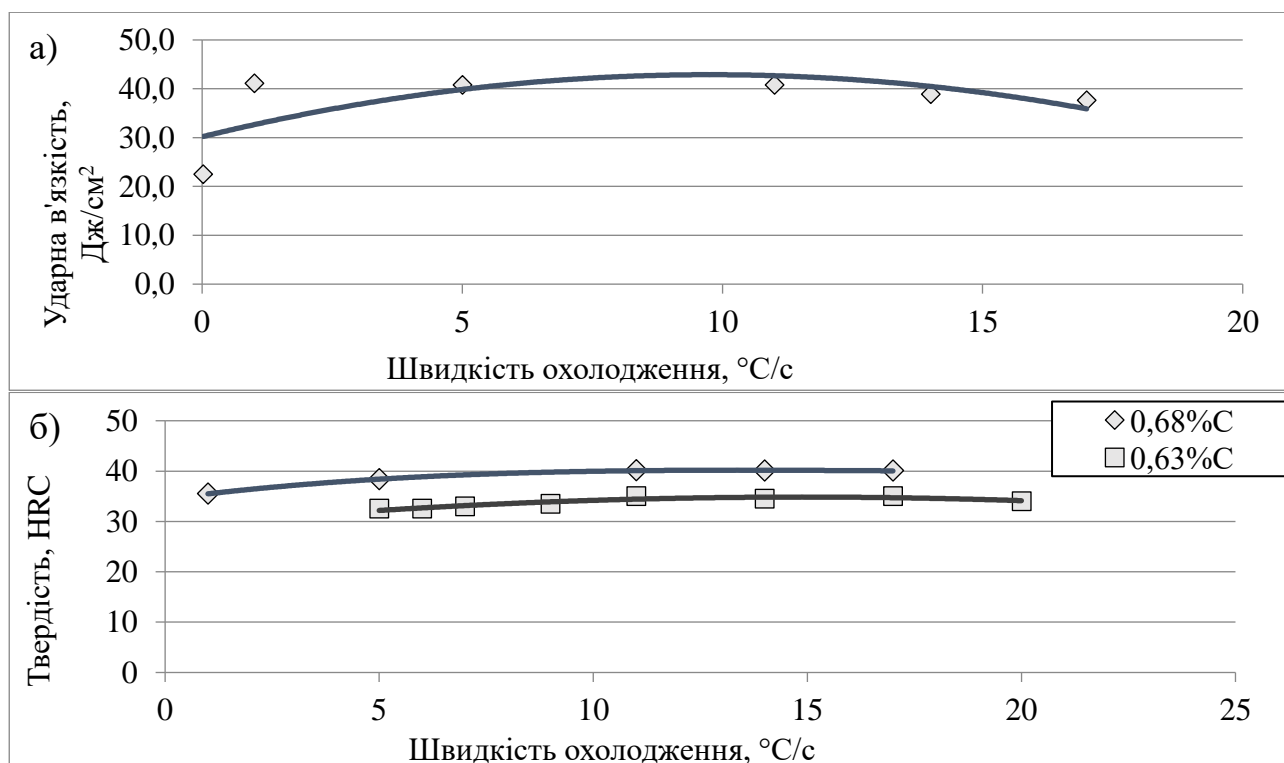


Рис. 6. Ударна в'язкість сталі з 0,68%С (а), твердість сталей з 0,68 %С і 0,63 %С (б) після охолодження з різними швидкостями охолодження та наступним відпуском [8]

Найбільші значення ударної в'язкості відповідають швидкостям охолодження 1...11°C/с (див. рис. 6). При подальшому збільшенні швидкості охолодження значення ударної в'язкості починають зменшуватись. Це може бути пов'язане з утворенням бейніту. Мінімальне значення ударної в'язкості відповідає стану після відпалу з охолодженням з піччю. Ймовірно, це пов'язано з тим, що тріщина при руйнуванні зразка під час випробування на своєму шляху зустрічала менше границь між феритом та цементитом в перліті. Тому термічна обробка з прискореним охолодженням є необхідною операцією, яка забезпечує значне підвищення всього комплексу механічних властивостей. При швидкостях охолодження вище за 11°C/с, твердість значно не змінюється. Такий характер зміни властивості спостерігали для обох досліджуваних сталей. Встановлено, що при охолодженні зі швидкостями 5...11°C/с не відбувається формування структури бейніту, досягається високий рівень твердості, а по значенню ударної в'язкості на цей інтервал припадають високі значення.

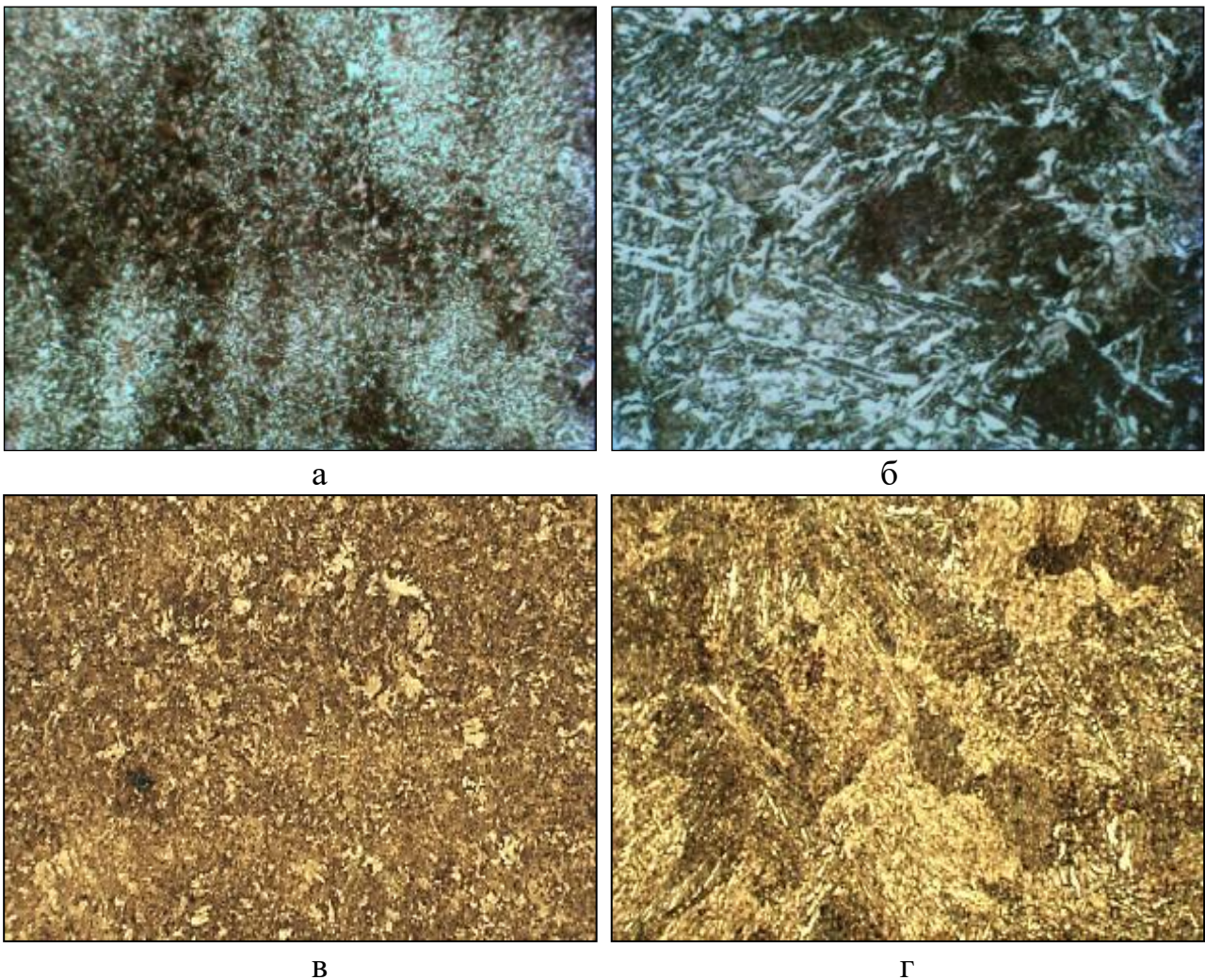


Рис. 7. Мікроструктура сталі колеса згідно ААР М-107/М-208: а, б – після охолодження з постійною витратою охолоджувача; в, г – після охолодження зі зміною витрати охолоджувача (а, в – $\times 100$; б, г – $\times 800$) [8]

Після термічної обробки за запропонованої авторами [8] технологією спостерігали неоднорідну мікроструктуру: структура під поверхнею кочення являє собою відпущений мартенсит, в центральній області – мартенсит і бейніт в різному співвідношенні по перерізу. Ймовірно, це є результатом хімічної неоднорідності, яка виникає в результаті кристалізації сталі, і зі збільшенням кількості легуючих елементів може проявлятися більш інтенсивно.

З метою забезпечення структурної однорідності та підвищення комплексу властивостей було випробуване диференційне охолодження обода колеса на вертикальній гартувальній машині зі зміною інтенсивності тепловідводу шляхом зміни витрати охолоджувальної рідини в процесі охолодження від 0 до 60...65 м³/год протягом перших 30 секунд. Мікроструктура дослідних залізничних коліс після диференційної ТО наведена на рисунку 7 в, г.

Висновок. При взаємодії тіл з рухомою точкою контакту необхідно враховувати фізико-механічні властивості поверхневих шарів, які відрізняються від властивостей матеріалу, розташованого на значній відстані від його поверхні. Ця різниця з'являється в результаті хімічних і структурних перетворень, механічного та теплового впливу, зносу і контактної втоми матеріалів поверхонь фрикційної пари колесо-рейка.

Перелік посилань

1. Чичинадзе, А.В. (2001). *Основы трибологии (трение, износ, смазка)*. Машиностроение.
2. Крагельский, И. В. (1968). *Трение и износ*. Машиностроение.
3. Франчук, В.П., & Зіборов, К.А. (2017). *Взаємодія тіл з рухомою точкою контакту*. НГУ.
4. Демкин, Н.Б. (1962). *Фактическая площадь касания твердых поверхностей*. Изд. АН СССР.
5. Беляев, Н. М. (1976). *Сопротивление материалов*. Наука.
6. Минов Д. К. (1965). *Повышение тяговых свойств электровозов и тепловозов с электрической передачей*. Транспорт.
7. Костюкевич, А.И. (2011). Экспериментальное исследование коэффициента трения при качении со скольжением. *Вісник СХУ ім. В. Дал*, 4(158), 14-19.
8. Бабаченко, О. І., Кононенко, Г. А., Рослик, О. В., Майстренко, К. М., & Подольський, Р. В. (2020). *Розробка сталей для металопродукції залізничного призначення: монографія*. Домінанта-принт.

АННОТАЦІЯ

Цель. Определение механических свойств поверхностного слоя материалов и физических процессов, происходящих в зоне фрикционного взаимодействия пары колесо-рельс.

Методика. На основе теоретических исследований параметров движения транспортного средства по рельсовому пути сформулирована математическая модель взаимодействия колеса и рельса на элементарной площадке контакта при наличии нормального и тягового усилия. Исследован характер изменения фазового состава и неоднородность структурного состояния, которые могут приводить к снижению механических свойств пары колесо-рельс и уменьшение общей эксплуатационной надежности этих изделий. Исследовано структурное состояние обода колеса после различных режимов термической обработки. Предложен режим термической обработки, заключающийся в дифференциальном охлаждении обода колеса на вертикальной закаливающей машине с изменением интенсивности теплоотвода, который позволяет

получить однородную структуру по сечению обода колеса, а также повысить его механические характеристики.

Выводы. При взаимодействии тел с движущейся точкой контакта необходимо учитывать физико-механические свойства поверхностных слоев, которые отличаются от свойств материала, находящегося на значительном удалении от его поверхности. Эта разница возникает в результате химических и структурных превращений, механических и термических воздействий, износа и контактной усталости материалов поверхности пары трения колесо-рельс. Предложены режимы термической обработки, которые обеспечивают структурную однородность и позволяют повысить механические свойства обода колеса.

Практическая значимость. Получена зависимость, описывающая изменение средней температуры в пятне контакта пары колесо-рельс от скорости движения рельсового транспортного средства. Текущее значение модуля упругости материала пары трения определяется как функция времени контакта. Описаны режимы термической обработки сталей, которые позволяют получить химическую однородность по сечению.

Ключевые слова: *поверхностный слой, температура, пара трения, подвижный контакт, структурное состояние, термическая обработка, механические свойства.*

ABSTRACT

Purpose. Determination of mechanical properties of the surface layer of materials and physical processes occurring in the zone of frictional interaction of the wheel-rail pair.

The methods. On the basis of theoretical studies of the parameters of the movement of a vehicle along a rail track, a mathematical model of the interaction of a wheel and a rail on an elementary contact area in the presence of normal and tractive effort is formulated. The nature of the change in the phase composition and the heterogeneity of the structural state, which can lead to a decrease in the mechanical properties of a wheel-rail pair and a decrease in the overall operational reliability of these products, have been investigated. The structural state of the wheel rim after various modes of heat treatment has been investigated. A mode of heat treatment is proposed, which consists in differential cooling of the wheel rim on a vertical hardening machine with a change in the intensity of heat removal, which makes it possible to obtain a homogeneous structure over the section of the wheel rim, as well as to increase its mechanical characteristics.

Findings. When bodies interact with a moving contact point, it is necessary to take into account the physical and mechanical properties of the surface layers, which differ from the properties of a material located at a considerable distance from its surface. This difference arises as a result of chemical and structural transformations, mechanical and thermal effects, wear and contact fatigue of the surface materials of the wheel-rail friction pair. The modes of heat treatment are proposed, which provide structural homogeneity and improve the mechanical properties of the wheel rim.

Practical implications. A dependence is obtained that describes the change in the average temperature in the contact patch of a wheel-rail pair on the speed of a rail vehicle. The current value of the elastic modulus of the friction pair material is determined as a function of the contact time. The modes of heat treatment of steels are described, which make it possible to obtain chemical uniformity over the section.

Keywords: *surface layer, temperature, friction pair, movable contact, structural state, heat treatment, mechanical properties.*