

Диффузионные и сегрегационные процессы в тяжелонагруженных узлах трения*

И. В. Колесников

Аналитически установлено и экспериментально подтверждено, что в тяжелонагруженных сопряжениях, таких как тормозная система подвижного состава, максимальное значение температуры в колесе находится не на поверхности, а в подповерхностном слое. Рассмотрение нестационарной контактной связанный термоупругости в задаче о вращении тормозного диска и экспериментальные исследования диффузии водорода показали, что характер расчетной зависимости температурного поля удовлетворительно описывает процесс диффузии водорода в его функциональной зависимости от температуры. При этом максимум концентрации водорода совпадает с максимумом температуры. Представлены результаты по исследованию сегрегационных явлений легирующих и примесных элементов в трибосистеме колесо-тормозная колодка. Методом оже-спектроскопии установлен элементный состав на границах зерён стали железнодорожного колеса. Верхние слои металла дефектов колеса содержат железо, серу, фосфор и цинк. В рабочем слое бандажа содержание серы и фосфора значительно меньше и соответствует их объёмному содержанию.

Ключевые слова: диффузия, контактная термоупругая задача, температура, сегрегация, электризация.

Введение. Известно, что при трении в результате термомеханической деструкции полимеров в зоне контактирования с металлом выделяются различные по своей природе твердые, жидкые и газообразные продукты, среди которых большое количество водорода. Водород в свою очередь адсорбируется и активно поглощается контактирующей поверхностью металла, что ведет к ее разрушению и переносу твердых частиц металла с этой поверхности на более мягкий полимерный материал. Диффундируя в приповерхностную область, водород попадает в образовавшиеся при деформации трещины. Мобилизясь в них, водород создает внутренние расклинивающие давления, превышающие предел прочности материала. По расчетным данным при воздействии колеса с рельсом реализация касательных напряжений также осуществляется на некоторой глубине от поверхности. В совокупности эти факторы вызывают расклинивающее действие на трещину адсорбированного водорода, что способствует развитию трещин в этой зоне и преждевременному разрушению металлического контртела, которое проявляется в «намазывании» металла на сопряженную с колесом поверхность фрикционной колодки.

Разрушение поверхностного слоя металла происходит как в результате его охрупчивания, так и при восстановительных реакциях с участием водорода.

При температурах в зоне трения 200–600 °C водород способен реагировать с углеродом стали и карбидом железа по реакции $\text{FeC}+4\text{H}\rightarrow\text{CH}_4+\text{Fe}$. Появляющийся на границах зерен и фаз метан дополнительно способствует возникновению микротрещин в объеме стали. Обезуглероживание сплава и появление новой фазы — чистого железа, снижают прочностные свойства стали.

Учитывая, что температура является решающим фактором в процессах диффузии термодеструкции полимеров, нами проведены исследования температурного поля в трибосистеме тормозной диск – тормозная накладка, а также колесо – тормозная колодка подвижного состава. Кроме этого, оценено влияние теплового и электрического полей на диффузионные процессы в зоне фрикционного металлополимерного контакта.

Задача данной работы. По причине сложной геометрии тормозного узла подвижного состава в задачах по определению температурного поля, а также необходимости описания сложного термомеханического поведения, аналитическое решение не представляется возможным. В таких случаях одним

* Исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда (проект №14-29-00116)

из наиболее эффективных является метод конечного элемента, для определения температурного поля, влияющего на диффузионные и сегрегационные процессы в трибосистеме [1–4].

Основная часть. В качестве модельной задачи рассмотрим нестационарную контактную связанный термоупругую задачу о вращении тормозного диска внешнего радиуса $R_1 = 30 \text{ см}$ и внутреннего радиуса $R_2 = 20 \text{ см}$, содержащего воздушные каналы, с прижатыми к нему с некоторой заданной силой P тормозными накладками. Схематичное изображение задачи можно видеть на рис. 1. Тормозной диск вращается против часовой стрелки со скоростью V на промежутке времени $t \in [0, T]$. В дополнении к декартовой системе координат с началом в центре тормозного диска будем рассматривать цилиндрическую систему (R, ϕ, Z) относительно того же центра (ось Z перпендикулярна плоскости диска). Будем обозначать тормозной диск и накладки индексами сверху (пусть (1) — соответствует тормозному диску, а (2,3) — передней и задней тормозным накладкам соответственно). В области $S_{\text{конт}}$ задан контакт накладки и диска с коэффициентом трения k , а также закон тепловыделения за счет трения с коэффициентом контактной теплопроводности $K_{\text{конт}}$.

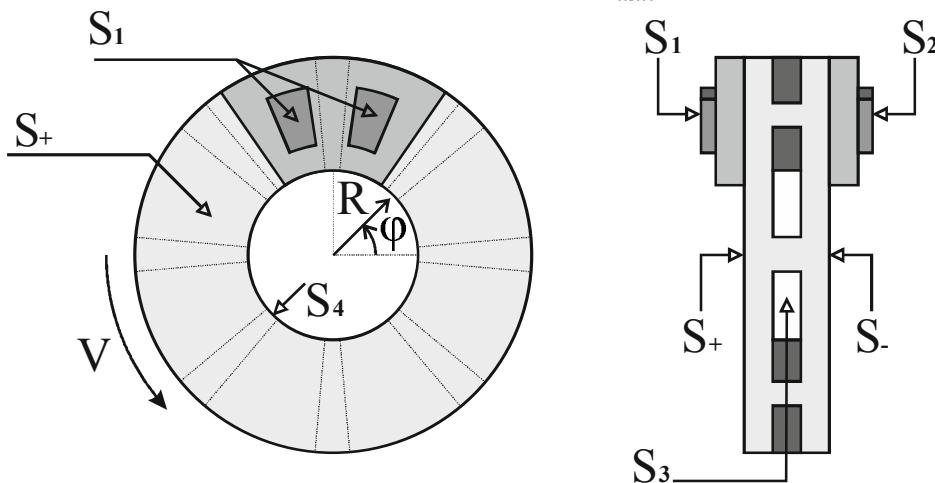


Рис. 1. Схематичное изображение исследуемой системы

Поведение системы описывается классическими уравнениями движения термоупругой среды (1) и граничными условиями (2). Определяющие соотношения для связанный термоупругости имеют вид (3).

$$\begin{aligned} (\lambda^{(i)} + 2\mu^{(i)})\nabla\nabla \cdot \mathbf{u}^{(i)} - (\lambda^{(i)} + \mu^{(i)})\nabla \times \nabla \times \mathbf{u}^{(i)} - \gamma^{(i)}\nabla\theta^{(i)} - \rho^{(i)}\ddot{\mathbf{u}}^{(i)} &= 0, \\ \Lambda^{(i)}\nabla \cdot \nabla\theta^{(i)} - C_e^{(i)}\dot{\theta}^{(i)} - T_0\gamma^{(i)}\frac{\partial}{\partial t}\nabla \cdot \mathbf{u}^{(i)} &= 0, i = 1, 3; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} u_R^{(1)} = u_Z^{(1)} = 0, \mathbf{x} \in S_4, \\ u_R^{(2)} = u_\phi^{(2)} = 0, \mathbf{x} \in S_1 \cup S_2, \\ \frac{1}{\|S_1\|} \int_{S_1} \sigma_{ZZ}^{(2)} dS = P, \\ \frac{1}{\|S_2\|} \int_{S_2} \sigma_{ZZ}^{(3)} dS = -P, \end{array} \right. , \quad \left\{ \begin{array}{l} \tau_{RZ} = k \cdot \sigma_{ZZ}, \mathbf{x} \in S_{\text{конт}}, \\ q^{(2)} = a(\theta_{\text{среды}} - \theta^{(1)}), \mathbf{x} \in S_+ \cup S_- \cup S_3, \\ q_{\text{конт}} = k_{\text{конт}}(\theta^{(1)} - \theta^{(2)}), \mathbf{x} \in S_{\text{конт}}, \\ q_{\text{конт}}^{(1)\text{ген}} = K_{\text{эн}} k_p E_{\text{тр}}, \mathbf{x} \in S_{\text{конт}}, \\ q_{\text{конт}}^{(2)\text{ген}} = K_{\text{эн}} (1 - k_p) E_{\text{тр}}, \mathbf{x} \in S_{\text{конт}}, \\ \theta^{(1)} = \theta^{(2)} = 0, t = 0, \\ \dot{\theta}_o^{(1)} = V(t), t \in [0, T]; \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\begin{aligned}\sigma_{11}^{(i)} &= (2\mu^{(i)} + \lambda)\varepsilon_{11}^{(i)} + \lambda^{(i)}(\varepsilon_{22}^{(i)} + \varepsilon_{33}^{(i)}) - \gamma^{(i)}\theta^{(i)}, \quad \sigma_{12}^{(i)} = 2\mu^{(i)}\varepsilon_{12}^{(i)}, \\ \sigma_{22}^{(i)} &= (2\mu^{(i)} + \lambda)\varepsilon_{22}^{(i)} + \lambda^{(i)}(\varepsilon_{11}^{(i)} + \varepsilon_{33}^{(i)}) - \gamma^{(i)}\theta^{(i)}, \quad \sigma_{23}^{(i)} = 2\mu^{(i)}\varepsilon_{23}^{(i)}, \\ \sigma_{33}^{(i)} &= (2\mu^{(i)} + \lambda)\varepsilon_{33}^{(i)} + \lambda^{(i)}(\varepsilon_{11}^{(i)} + \varepsilon_{22}^{(i)}) - \gamma^{(i)}\theta^{(i)}, \quad \sigma_{31}^{(i)} = 2\mu^{(i)}\varepsilon_{31}^{(i)};\end{aligned}\quad (3)$$

где $\lambda^{(i)}, \mu^{(i)}$ — соответствующие упругие модули материалов; $\gamma^{(i)} = (3\lambda^{(i)} + 2\mu^{(i)})\alpha^\ell$, $\alpha_t^{(i)}$ — коэффициенты теплового расширения; $a^{(i)}$ — коэффициенты теплоотдачи; $\theta_{\text{среды}}$ — температура окружающей среды; $\Lambda^{(i)}$ — коэффициенты теплопроводности; $C_e^{(i)}$ — теплоемкость тел; T_0 — абсолютная температура начального состояния тел; $\rho^{(i)}$ — плотность тел; $u^{(i)}$ — вектора смещений среды; $\theta^{(i)}$ — температура каждого из тел.

Опишем более детально каждое из граничных условий (2). На поверхности S_4 задано ограничение на перемещение тормозного диска в направлении R и z , что дает возможность совершать диску только вращательные перемещения. Аналогично на поверхностях S_1, S_2 задано ограничение на перемещение по направлениям R и ϕ , определяющее движение тормозных подошв только по перпендикуляру к тормозной поверхности диска. Силовые условия задачи заключаются в задании распределенной нагрузки на поверхностях S_1, S_2 , что обеспечивает прижимающее усилие тормозной системы величины P . В области контакта касательные напряжения τ_{RZ} пропорциональны нормальным σ_{zz} с коэффициентом трения k . Важным фактором при описании температурного поведения тормозных систем является конвективный теплообмен со средой, что связано с обдувом тормозного диска воздухом. Условия конвекции в представленной задаче выражаются в пропорциональности величины теплового потока $q^{(2)}$ на поверхностях тормозного диска S_+, S_-, S_3 , соответствующих правой и левой тормозной поверхности и внутренней поверхности вентиляционных каналов и разности температуры тормозного диска $\theta^{(1)}$ и температуры окружающей среды $\theta_{\text{среды}}$ с коэффициентом a . Необходимым условием при решении контактных задач с учетом теплопроводности является условие контактной теплопроводности в зоне контакта. В случае описываемой задачи такое условие является необходимым для моделирования перехода тепла от одного тела к другому в контактной паре и выражается в пропорциональности теплового потока в контактной паре $q_{\text{конт}}$ разности температур контактных поверхностей $\theta^{(1)}, \theta^{(2)}$ с коэффициентом контактной теплопроводности $k_{\text{конт}}$. Условие генерации тепла за счет трения выражается в задании дополнительных потоков тепла на границах контактирующих тел с интенсивностями, пропорциональными коэффициенту $k_{\text{тр}}$ и величине энергии $E_{\text{тр}}$, перешедшей из трения в тепло, и весовому коэффициенту k_p , обозначающему распределение тепла между двумя поверхностями. Так как рассматриваемая задача является нестационарной, то необходимо задать соответствующие начальные условия, которыми опишем начальную температуру тел $\theta^{(1)}, \theta^{(2)}$, равную нулю в нашем случае, а также начальную скорость вращения тормозного диска $\dot{\psi}^{(1)} = V(0)$.

Опишем материальные параметры, используемые в задаче. В качестве материала для всех компонентов была выбрана сталь с параметрами: модуль Юнга $E = 2.0e^{11} \text{ Па}$, коэффициент Пуассона $\nu = 0.3$, плотность $\rho = 7850 \text{ кг / м}^3$, коэффициент теплопроводности $\Lambda = 48 \text{ Вт / (м · К)}$, теплоемкость $C_e = 452 \text{ Дж / (кг · С)}$, коэффициент температурного расширения $\gamma = 1.1e^{-5} \text{ 1 / С}$.

Сложность геометрии и связанное термоупругое поведение системы не позволяют получить решение аналитически. В таких случаях эффективным методом решения является использование со-

ответствующих конечно-элементных пакетов. Для решения поставленной задачи был использован пакет *ABAQUS*. При построении конечно-элементного разбиения тел был использован восьмиузловой элемент *C3D8T*, допускающий при моделировании учет как упругих, так и температурных полей, конечно-элементные матричные уравнения которого имеют вид:

$$\begin{bmatrix} [M] & [0] \\ [0] & [C^t] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\ddot{u}\} \\ \{\dot{T}\} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [C] & [0] \\ [C^t] & [C^t] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\ddot{u}\} \\ \{\dot{T}\} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [K] & [K^{ut}] \\ [K^t] & [K^t] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{u\} \\ \{T\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{F\} \\ \{Q\} \end{Bmatrix}, \quad (4)$$

где M — матрица масс; C — матрица демпфирования; K — матрица жесткости; u — вектор смещений; F — сумма узловых усилий и давлений на элементах; C^t — удельная теплоемкость; K^t — матрица диффузационной проводимости; T — вектор температур; K^{ut} — матрица термоупругой жесткости.

Конечно-элементный анализ для более правильной сходимости был разделен на два этапа. В рамках первого этапа была решена статическая задача о вдавливании с силой P тормозных накладок в диск. На следующем этапе решалась динамическая нестационарная задача, в рамках которой была задана скорость вращения тормозного диска.

Общий характер нагрева может быть выражен в трех возможных режимах: 1) в случае малой скорости вращения, небольшой прижимной силы, а также значительного теплообмена с окружающей средой температура точки на диске может принимать начальное значение после некоторого момента времени, что обусловлено тем фактом, что величина тепла, излучаемого в окружающую среду, больше величины тепла, генерируемого за счет трения в зоне контакта; 2) при высокой скорости вращения, но небольшой прижимной силе, температура точки может выйти на некоторый стационарный режим; 3) в случае высокой скорости вращения и значительной прижимной силе температура точки после некоторого момента растет линейно.

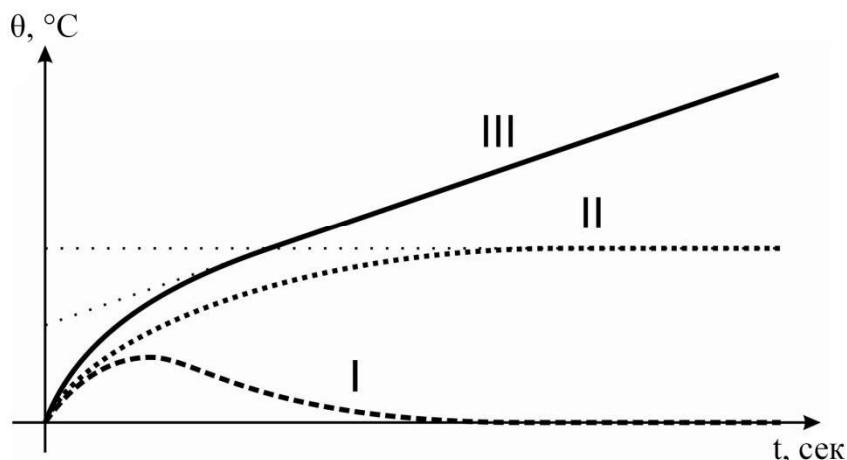


Рис. 2. Качественная зависимость температуры (θ) от времени (t) при различных нагрузочно-скоростных параметрах

Важным результатом расчета является то, что максимум температур по толщине диска в сечениях в удалении от зоны контакта находится не на поверхности, а в глубине. В реальности глубина такого эффекта приблизительно 200–500 мкм.

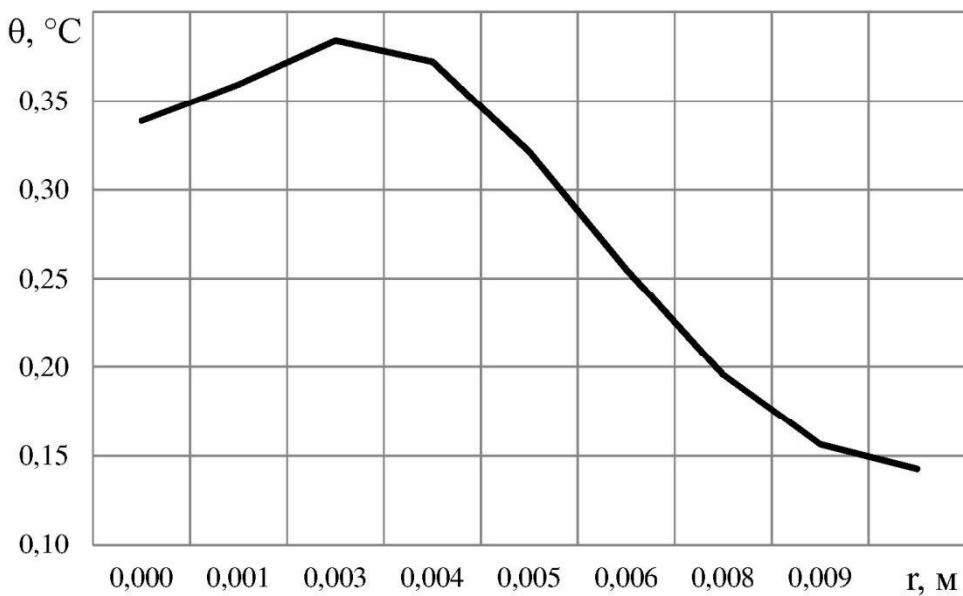


Рис. 3. Градиент температуры в глубь диска, где θ — температура, r — расстояние от поверхности в толщину тормозного диска

На рис. 3 представлено распределение температуры в глубь диска, причем если увеличивать теплоотдачу, что может достигаться конструктивным путем, то эффект максимального поверхностного максимума становится значительным.

Расчет температурного поля для трибосистемы колесо — тормозная колодка подвижного состава проведен в классическом варианте с учетом смены граничных условий, т.е. под колодкой колесо нагревается, а вне колодки — охлаждается. Расчет проводился на основе теории регуляризации сингулярно возмущенных задач путем перехода в пространство безрезонансных решений. Такой подход позволил исследовать характер изменения температуры и температурного градиента в пограничной области фрикционного контакта в зависимости от режимов и характера работы узла трения с учетом изменений свойств материала в поверхностном слое и смены граничных условий. В результате получено, что максимальное значение температуры в колесе находится не на поверхности, а в подповерхностном слое.

Для определения влияния температурного градиента на профиль концентрации водорода в металлическом контролле была разработана методика и изготовлена установка, позволяющая менять температурное поле по толщине металлического тела, изготовленного в виде наборных плотно прилегающих пластин.

Количественное определение газосодержания стальных образцов проводилось в процессе выделения газа из металла при его нагревании и дальнейшим хроматографированием, а также методом анодного растворения.

В результате получено, что максимум концентрации водорода совпадает с максимумом температуры.

Кроме того, нами проведены исследования сегрегационных явлений легирующих и примесных элементов в трибосистеме колесо — тормозная колодка. Разработаны методы наноструктурной диагностики элементов этих систем.

Атомы, растворённые в теле кристаллического зерна, со временем смещаются и накапливаются по границам зёрен на свободной поверхности или других поверхностях раздела [5, 6]. Величину связи между кристаллитами можно направленно изменять, формируя на границах зерен монослои из тех или иных элементов. При этом необходимо знать, какие элементы и в какой степени упрочняют или, наоборот, разупрочняют границы зерен в данном материале. Своевременное обнаружение элементов, способных охрупчивать границы зёрен металла, позволит разработать конкретные мероприятия и способы аттестации элементов трибосистемы, направленные на повышение безопасности движения и обеспечение эффективности действия трибосистемы колесо-рельс. Методом оже-спектроскопии нами были проведены исследования элементного состава на границах зерен стали железнодорожного колеса. Согласно полученным данным, верхние слои металла дефектов колеса содержат, кроме железа, серу, фосфор и цинк. В рабочем слое бандажа содержание таких элементов, как сера и фосфор, значительно меньше, и оно соответствует их объемному содержанию.

Содержание фосфора и серы на поверхности отделившегося фрагмента достигает 2,1 и 3,1 атомных % соответственно, что превышает объемное содержание этих элементов более чем в 30 и 300 раз. С глубиной этот эффект уменьшается, и на расстоянии 8 мм от поверхности фиксируемая концентрация серы и фосфора приблизительно в 10 раз больше, чем в объеме. В других дефектных местах поверхности катания колеса и на глубине методом оже-электронной спектроскопии обнаружены такие элементы, как барий, цинк и калий, входящие в состав композиционной тормозной колодки. Сера также входит в состав композиционной колодки. Появление линии кальция может быть отнесено на счет обменно-диффузионных процессов с внешней средой [7, 8]. Все эти элементы, находящиеся на границах зерен, охрупчивают их.

Известно, что специфика полимерных материалов заключается не только в генерации при трении активных продуктов деструкции и в частности водорода, но и в их способности накапливать электрические заряды. В связи с этим мы изучили влияние величины и направления электрического поля в зоне трения на интенсивность его наводороживания и износостойкость. Испытания проводили на торцевой машине трения при частоте вращения $\pi=5\ldots15$ Гц, удельной нагрузке $P=0,5\ldots10$ МПа на следующих материалах: сталь (в основном закаленная и незакаленная Ст.45), титановый сплав ВТ-5, композиционные материалы тормозных колодок 5-6-60, 8-1-66, 328-303 и гетинакс. Для создания в зоне трения электрического поля требуемого направления один из элементов металлополимерного узла изолировался от корпуса машины и на сопряженные элементы от внешнего источника питания подавалось постоянное напряжение известной полярности. Вследствие того, что электропроводности гетинакса и материалов 5-6-60, 8-1-66 значительно отличаются друг от друга, для исключения искрения в зоне трибоконтакта и электрического пробоя пластмассы на сопряженные элементы подавалось напряжение различной величины. Так, при трении материала 8-1-66 по металлу напряжение составляло ± 30 В, при трении материала 5-6-60 — ± 250 , а при трении гетинакса — ± 2500 В.

Результаты испытаний показали, что при подаче на пластмассу положительного потенциала от внешнего источника по отношению к сопряженному металлическому контролю износ его в 2...3 раза выше, чем при отрицательном. Такое влияние знака и величины потенциала на износ стали объясняется усилием или торможением процесса наводороживания стального тела трения электрическим полем. Отличия же износов пластмассовых образцов при различном направлении электрического поля в зоне трения обусловлены более интенсивным окислением полимерного образца, подключенного к положительному полюсу источника питания, что приводит к усилению деструктивных процессов и, как следствие, к повышению износа [9, 10].

Заключение. При использовании метода конечных элементов решена термоупругая задача для фрикционного тормозного сопряжения. Расчеты показывают, что максимальная температура достигается не на поверхности, а внутри колеса. Это влияет на диффузионные и сегрегационные процессы в

металлополимерной трибосистеме. Наибольшее влияние на диффузионные преимущества оказывает не только температура, но и трибоэлектризация.

Библиографический список

1. Schofer, J. Quantitative wear analysis using atomic force microscopy / J. Schofer, E. Santer // Wear. — 1998. — pp. 74–83.
2. Горячева, И. Г. Механика фрикционного взаимодействия / И. Г. Горячева. — Москва : Наука, 2001. — 478 с.
3. Dmitriev, A. I. Simulation of surface topography with the method of movable cellular automata / A. I. Dmitriev, V. L. Popov, S. G. Psakhie // Tribology International. — 2006. — V.39, № 5. — pp. 444–449.
4. Osterle, W. Towards a better understanding of brake friction materials / W. Osterle, A. Dmitriev, H. Klob, I. Urban // Wear. — 2007. — V. 263, № 7–12. — pp. 1189–1201.
5. Mosey, N. J. Atomistic Modeling of Friction / N. J. Mosey, M. H. Müser, K. B. Lipkowitz, T. R. Cundari // Reviews in Computational Chemistry. — 2007. — V. 25. — pp. 67–124.
6. Koskilinna, J. O. Friction paths for cubic boron nitride: an ab initio study / J. O. Koskilinna, M. Linnolahti, T. A. Pakkanen // Tribology Letters. — 2007. — V.27, №2. — pp.145–154.
7. Yang, R. The effects of 3d alloying elements on grain boundary cohesion in gamma-iron : a first principles study on interface embrittlement due to the segregation / R. Yang, R. Z. Huang, Y. M Wang., H. Q. Ye, C. Y. Wang // Journal of Physics: Condensed Matter. — 2003. — V.15, № 49. — pp.8339–8349.
8. Gesari, S. B. Effect of manganese on grain boundary segregation of sulfur in iron / S. B. Gesari, M. E. Pronsato, A. Juan // Applied Surface Science. — 2007. — V. 253, №14. — pp. 5939 – 5942.
9. Кохановский, В. А. Трение и изнашивание фторопластсодержащих композитов / В. А. Кохановский, Ю. А. Петров // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2009. — Т. 9, № 1 (40). — С. 30–35.
10. Власенко, И. Б. Антифрикционные композиты в активных водных средах / И. Б. Власенко // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2013. — № 7/8 (75). — С. 58–64.

Материал поступил в редакцию 30.09.2014.

References

1. Schofer, J., Santer, E. Quantitative wear analysis using atomic force microscopy. Wear, 1998, pp. 74–83.
2. Goryacheva, I. G. Mekhanika frikitsonnogo vzaimodeystviya. [Friction interaction mechanics.] Moscow : Nauka, 2001, 478 p. (in Russian).
3. Dmitriev, A. I., Popov, V. L., Psakhie, S.G. Simulation of surface topography with the method of movable cellular automata. Tribology International, 2006, vol. 39, no. 5, pp. 444–449.
4. Osterle, W., Dmitriev, A., Klob, H., Urban, I. Towards a better understanding of brake friction materials. Wear, 2007, vol. 263, no. 7–12, pp. 1189–1201.
5. Mosey, N. J., Müser, M. H., Lipkowitz, K. B., Cundari, T. R. Atomistic Modeling of Friction. Reviews in Computational Chemistry, 2007, vol. 25, pp. 67–124.
6. Koskilinna, J. O., Linnolahti, M., Pakkanen, T. A. Friction paths for cubic boron nitride: an ab initio study. Tribology Letters, 2007, vol. 27, no. 2, pp.145–154.
7. Yang, R., Huang, R. Z., Wang, Y. M., Ye, H. Q., Wang, C. Y. The effects of 3d alloying elements on grain boundary cohesion in gamma-iron : a first principles study on interface embrittlement due to the segregation. Journal of Physics: Condensed Matter, 2003, vol.15, no. 49, pp.8339–8349.
8. Gesari, S. B., Pronsato, M. E., Juan, A. Effect of manganese on grain boundary segregation of sulfur in iron. Applied Surface Science, 2007, vol. 253, no.14, pp. 5939 – 5942.

9. Kokhanovskiy, V. A., Petrov, Y. A. Trenie i iznashivanie ftoroplastsoderzhashchikh kompozitov. [Friction and wear of fторoplast-containing composites.] Vestnik of DSTU, 2009, vol. 9, no. 1 (40), pp. 30–35 (in Russian).
10. Vlasenko, I. B. Antifriktsionnye kompozity v aktivnykh vodnykh sredakh. [Antifriction composites in the active water solutions.] Vestnik of DSTU, 2013, no. 7/8 (75), pp. 58–64 (in Russian).

DIFFUSION AND SEGREGATION PROCESSES IN HEAVY-LOADED FRICTION UNITS*

I. V. Kolesnikov

It is stated analytically and proved experimentally that in the heavy-loaded conjugations such as a break system of the rolling stock the maximum temperature in the wheel is reached not on the surface but in the subsurface layer. The study of the non-stationary contact coupled thermoelasticity problem on the brake disk rotation, and on the experimental research of the hydrogen diffusion has shown that the design dependence type of the thermal field describes adequately the process of the hydrogen diffusion in its functional dependence on the temperature. Under these conditions, maximum of the hydrogen concentration coincides with maximum temperature. The study results on the segregation processes of the alloying and doping elements in the wheel – brake shoe tribosystem are presented. The elemental composition on the boundaries of the steel grains of the railway wheel is determined using Auger spectroscopy. The upper metal layers in the defected wheel contain iron, sulfur, phosphorus, and zinc. In the tread working layer, the sulfur and phosphorus content is much less, and it conforms to their volumetric content.

Keywords: diffusion, contact thermoelasticity problem, temperature, segregation, electrization.

* The research is supported by RFFI grant (project no. 14-29-00116).