

В. Г. Заренбин, Т.Н. Колесникова

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОКРЫТИЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ ВСПЫШКИ НА СКОЛЬЗЯЩЕМ КОНТАКТЕ

Предложена уточненная расчетная оценка влияния покрытия на неустановившуюся температурную вспышку в условиях скользящего контактирования при граничном или сухом трении с учетом теплофизических свойств слоистой структуры пары трения. Приведены зависимости температуры вспышки на множественном контакте от толщины покрытия при различных значениях относительной продолжительности цикла нагружения и их числа. Дан пример оценки влияния медного покрытия на температурную вспышку в паре трения гильза цилиндра – поршневое кольцо быстрогоходного дизеля.

Введение

Постановка проблемы. Как известно [1,2], одним из перспективных способов повышения противозадирной стойкости трущихся пар является нанесение защитных покрытий на рабочие поверхности сопряженных деталей. К настоящему времени накоплен обширный опыт применения различных антифрикционных и антизадирных покрытий двигателей, отличающихся как по назначению, так и уровнем форсирования [3,4]. Установлено, что тонкие покрытия с высокой теплопроводностью, нанесенные на поверхности трения, могут существенно уменьшить величину температурных вспышек, причем их величины иногда сопоставимы или даже больше поверхностных температур [5,6].

Вместе с тем в проведенных расчетах использовалась упрощенная модель контакта, в которой микронеровность, расположенная на одном полубесконечном теле, двигалась по гладкому другому полубесконечному телу, т.е. без учета циклического воздействия со стороны неровностей контртела. Подобное допущение может привести к ошибочным результатам, затруднит анализ и изучение тепловых процессов на дискретном контакте твердых тел с покрытиями. Модель множественного контакта предложена в работе [7], однако в ней не рассматриваются многослойные элементы пары трения.

Поэтому актуальным является дальнейшее уточнение расчетной оценки влияния покрытий на снижение температурного режима с учетом реальных условий контактирования шероховатых поверхностей и изменения величин теплофизических параметров в зависимости от толщины покрытий и времени трения.

Цель работы - уточнить расчетную оценку влияния покрытия на неустановившуюся температурную вспышку на скользящем контакте, а также применить ее к паре трения гильза цилиндра – поршневое кольцо (ГЦ – ПК) двигателя внутреннего сгорания в условиях множественного контакта и граничной смазки.

Основной материал. Для расчетной оценки влияния покрытия на температурную вспышку за основу была взята модель множественного контакта, предложенная в работе [8].

Неровность поверхности поршневого кольца с нанесенным покрытием из материала высокой теплопроводности $\lambda_{п1}$ и толщиной $h_{п1}$ скользит относительно неровностей поверхности гильзы цилиндра. Все неровности пары трения покрыты адсорбированной масляной пленкой толщиной δ_m с коэффициентом теплопроводности λ_m . Предполагается, что трение на фактическом пятне касания со средним диаметром d_c осуществляется с одинаковой интенсивностью q_k и длительностью τ_k , равной отношению диаметра d_c к скорости скольжения V . Неровность ПК охлаждается через одинаковые промежутки времени между двумя последовательными контактами τ_p , равными отношению среднего расстояния между неровностями s_c к скорости скольжения V .

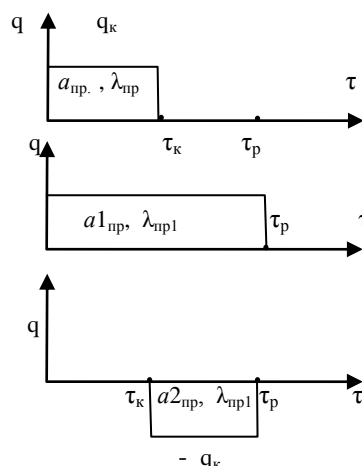


Рис. 1 Расчетная схема замещения для определения температурной вспышки t_{1min} в конце первого цикла нагружения неровностей

Конечная температура $(j-1)$ -го цикла нагружения принимается равной начальной температуре для последующего j -го цикла.

На рис.1 приведена расчетная схема замещения для определения температурной вспышки $t_{1\min}$ в конце первого цикла нагружения неровностей [9].

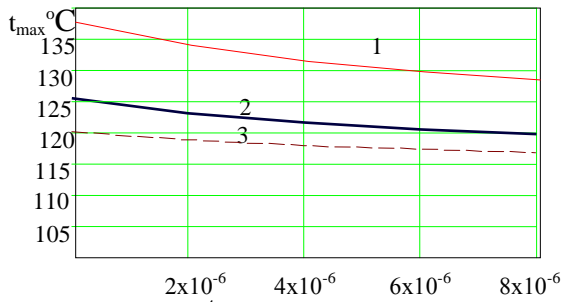


Рис.2 Изменение максимальной температуры вспышки t_{\max} от толщин нанесенного покрытия h_n при различных значениях $\bar{\tau}$:
1 - $\bar{\tau}=1,2$; 2 - $\bar{\tau}=1,5$; 3 - $\bar{\tau}=2$

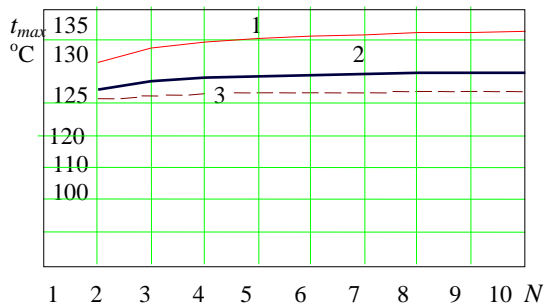


Рис.3. Изменение максимальной температуры вспышки t_{\max} от числа циклов нагружения N при $\bar{\tau}=1,2$ и различных значениях h_n :
1 - $h_n=0$; 2 - $h_n=4 \cdot 10^{-6} \text{ м}$; 3 - $h_n=8 \cdot 10^{-6} \text{ м}$

После первого цикла нагружения температуру движущейся неровности можно записать в виде [9]:

$$t_{\min} = \frac{q_k d_c}{2} \left[\alpha_{\text{тп1}} \frac{\theta_k(\text{Fo1}) - \theta_k(\text{Fo2})}{\lambda_{\text{пр1}}} \right],$$

где $\alpha_{\text{тп1}}$ – коэффициент распределения тепловых потоков, найденный из условия равенства максимальных или средних поверхностных температур контактирующих неровностей,

$$\theta_k(\text{Fo}) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{2\sqrt{\text{Fo}_k}} \text{erf}^2\left(\frac{1}{u}\right) du,$$

где $\theta_k(\text{Fo1})$, $\theta_k(\text{Fo2})$ – функции чисел $\text{Fo1}=a_{1\text{пр}} \cdot \tau_p/d_c^2$ и $\text{Fo2}=a_{2\text{пр}} \cdot (\tau_p - \tau_k)/d_c^2$; $a_{1\text{пр}}$; $a_{2\text{пр}}$ – приведенные коэффициенты теплопроводности, соответственно, за время τ_p и $(\tau_p - \tau_k)$; $\lambda_{\text{пр1}}$ – приведенная теплопроводность за время τ_p .

Приведенные теплофизические характеристики материалов ПК и ГЦ находились по известным формулам [1]:

$$\lambda_{\text{пр.к}} = \left[\frac{\delta_M^*}{\lambda_M} + \frac{h_{\text{п}}^*}{\lambda_{\text{п}}} + \frac{\delta_K^*}{\lambda_K} \right]^{-1}, \quad \lambda_{\text{пр.ц}} = \left[\frac{\delta_M^*}{\lambda_M} + \frac{\delta_{\text{ц}}^*}{\lambda_{\text{ц}}} \right]^{-1},$$

где

$$\delta_M^* = \delta_M / \epsilon_{\text{к.эф}}; \quad h_{\text{п}}^* = h_{\text{п}} / \epsilon_{\text{к.эф}},$$

$$\delta_K^* = (\epsilon_{\text{к.эф}} - \delta_M - h_{\text{п}}) / \epsilon_{\text{к.эф}},$$

$$\delta_{\text{ц}}^* = (\epsilon_{\text{ц.эф}} - \delta_M) / \epsilon_{\text{ц.эф}}.$$

Эффективная глубина проникновения тепла за время существования пятна касания неровностей τ_k равна:

при $\tau_M < \tau_k \leq \tau_M + \tau_{\text{п}}$

$$\epsilon_{\text{к.эф}} = \delta_M + 1,73 \sqrt{a_{\text{п}} (\tau_k - \tau_M)},$$

где: $\tau_{\text{п}} = h_{\text{п}}^2 / (3a_{\text{п}})$, $\tau_M = \delta_M^2 / (3a_M)$;

при $\tau_k > \tau_M + \tau_{\text{п}}$

$$\epsilon_{\text{к.эф}} = \delta_M + h_{\text{п}} + 1,73 \sqrt{a_{\text{к}} (\tau_k - \tau_M - \tau_{\text{п}})},$$

при $\tau_k > \tau_M$

$$\epsilon_{\text{ц.эф}} = \delta_M + 1,73 \sqrt{a_{\text{ц}} (\tau_k - \tau_M)};$$

$a_{\text{п}}$, $a_{\text{ц}}$, $a_{\text{к}}$, a_M – соответственно коэффициенты теплопроводности материалов покрытия, ГЦ, ПК и масляной пленки.

Приведенная теплоемкость:

при $\tau_M < \tau_k \leq \tau_M + \tau_{\text{п}}$

$$c_{\text{пр.к}} = \frac{\rho_M c_M \delta_M + \rho_{\text{п}} c_{\text{п}} (\epsilon_{\text{к.эф}} - \delta_M)}{\rho_M \delta_M + \rho_{\text{п}} (\epsilon_{\text{к.эф}} - \delta_M)},$$

при $\tau_k > \tau_M + \tau_{\text{п}}$

$$c_{\text{пр.к}} = \frac{\rho_M c_M \delta_M + \rho_{\text{п}} c_{\text{п}} h_{\text{п}} + \rho_{\text{к}} c_{\text{к}} (\epsilon_{\text{к.эф}} - \delta_M - h_{\text{п}})}{\rho_M \delta_M + \rho_{\text{п}} h_{\text{п}} + \rho_{\text{к}} (\epsilon_{\text{к.эф}} - \delta_M - h_{\text{п}})},$$

при $\tau_k > \tau_M$

$$c_{\text{пр.ц}} = \frac{\rho_M c_M \delta_M + \rho_{\text{ц}} c_{\text{ц}} (\epsilon_{\text{ц.эф}} - \delta_M)}{\rho_M \delta_M + \rho_{\text{ц}} (\epsilon_{\text{ц.эф}} - \delta_M)}.$$

Приведенная плотность:

при $\tau_M < \tau_k \leq \tau_M + \tau_{\text{п}}$

$$\rho_{\text{пр.к}} = \frac{\rho_M \delta_M + \rho_{\text{п}} (\epsilon_{\text{к.эф}} - \delta_M)}{\epsilon_{\text{к.эф}}},$$

при $\tau_k > \tau_M + \tau_{\text{п}}$

$$\rho_{\text{пр.к}} = \frac{\rho_M \delta_M + \rho_{\text{п}} h_{\text{п}} + \rho_{\text{к}} (\epsilon_{\text{к.эф}} - \delta_M - h_{\text{п}})}{\epsilon_{\text{к.эф}}},$$

при $\tau_k > \tau_M$

$$\rho_{\text{пр.ц}} = \frac{\rho_M \delta_M + \rho_{\text{ц}} (\epsilon_{\text{ц.эф}} - \delta_M)}{\epsilon_{\text{ц.эф}}}.$$

Приведенная теплопроводность:

$$a_{\text{пр.к}} = \lambda_{\text{пр.к}} / (c_{\text{пр.к}} \cdot \rho_{\text{пр.к}}),$$

$$a_{\text{пр.ц}} = \lambda_{\text{пр.ц}} / (c_{\text{пр.ц}} \cdot \rho_{\text{пр.ц}}),$$

где $\rho_m, c_m, \rho_{\text{ц}}, c_{\text{ц}}, \rho_k, c_k, \rho_{\text{п}}, c_{\text{п}}$ – соответственно, плотность и теплоемкость слоя масла, ГЦ, ПК и покрытия.

В конце N цикла нагружения:

$$t_{\min} = \frac{q_k d_c}{2} \sum_{j=1}^N \alpha_{\text{ТП},j} \left[\frac{\theta_k(\text{Fo}1_j) - \theta_k(\text{Fo}2_j)}{\lambda_{\text{пр},j}} \right] \quad (1),$$

где

$$\text{Fo}1_j = a1_{\text{пр},j} \cdot j\tau_p / d_c^2, \quad \text{Fo}2_j = a2_{\text{пр},j} (j\tau_p - \tau_k) / d_c^2;$$

$a1_{\text{пр},j}, a2_{\text{пр},j}$ – приведенные коэффициенты теплопроводности, соответственно, за промежутки времени $j\tau_p$ и $(j\tau_p - \tau_k)$; $\lambda_{\text{пр},j}$ – приведенный коэффициент теплопроводности за промежуток времени $j\tau_p$.

Коэффициент распределения тепловых потоков:

$$\alpha_{\text{ТП},j} = \frac{1 + \frac{2\Delta t' \cdot \lambda_{\text{пр},\text{ц}}}{q_k d_c \theta_{\text{ц}}}}{1 + \frac{\lambda_{\text{пр},\text{ц}}}{\lambda_{\text{пр},\text{к},j}} \cdot \frac{\theta_{\text{к},j}}{\theta_{\text{ц}}}},$$

где [7]:

$$\theta_{\text{ц}} = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^{2\sqrt{\text{Fo}_{\text{ц}}}} \text{erf}\left(\frac{1}{u}\right) \left[\text{erf}\left(\frac{1}{u} + \frac{1}{2} u \text{Pe}_{\text{ц}}\right) - \text{erf}\left(-\frac{1}{u} + \frac{1}{2} u \text{Pe}_{\text{ц}}\right) \right] du,$$

$$\text{Pe}_{\text{ц}} = \frac{V d_c}{4 a_{\text{пр},\text{ц}}}, \quad \text{Fo}_{\text{ц}} = 4 a_{\text{пр},\text{ц}} \tau / d_c^2;$$

$$\Delta t' = t_{\text{ц}} - t_{\text{к}};$$

$t_{\text{ц}}, t_{\text{к}}$ – средние температуры поверхностей ГЦ и ПК; $a_{\text{пр},\text{ц}}$ и $\lambda_{\text{пр},\text{ц}}$ – соответственно, приведенные коэффициенты теплопроводности и теплопроводности ГЦ за промежуток времени $j\tau_p$.

При малых значениях числа Фурье ($\text{Fo} < 0,1$) формула для t_{\min} примет вид:

$$t_{\min} = \frac{2q_k}{\sqrt{\pi}} \sum_{j=1}^N \alpha_{\text{ТП},j} \left[\frac{\sqrt{a1_{\text{пр},j} \cdot j\tau_p} - \sqrt{a2_{\text{пр},j} (j\tau_p - \tau_k)}}{\lambda_{\text{пр},j}} \right],$$

что совпадает с формулой приведенной в работе [7].

Максимальная температура вспышки после j -го цикла нагружения возникает в момент, когда тепло проникает на всю толщину граничной масляной пленки, т.е. при $\tau_{\max} = j\tau_p + \tau_m$, тогда

$$t_{\max} = t_{\min} + \frac{2\alpha_{\text{ТП}} q_k}{\lambda_m} \sqrt{\frac{a_m \tau_m}{\pi}}. \quad (2)$$

На рисунке 2 представлены изменения максимальной температуры вспышки t_{\max} от толщины нанесенного покрытия $h_{\text{п}}$ и различных значений относительной продолжительности цикла нагруже-

ния $\bar{\tau} = \tau_p / \tau_k$ при следующих исходных данных:

$$\lambda_k = 70 \text{ ВТ/(мК)}, \quad \lambda_{\text{ц}} = 50 \text{ ВТ/(мК)}, \quad \lambda_m = 0,14 \text{ ВТ/(мК)}, \\ \lambda_{\text{п}} = 393 \text{ ВТ/(мК)}, \quad a_k = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}, \quad a_{\text{ц}} = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}, \\ a_m = 8,6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}, \quad a_{\text{п}} = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}, \quad d_c = 5,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}, \\ \delta_m = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}, \quad \tau_k = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ с}, \quad q_k = 5 \cdot 10^8 \text{ ВТ/м}^2, \quad N = 10.$$

Видно, что при $\bar{\tau} = 1,2$ увеличение толщины покрытия $h_{\text{п}}$ от нуля до $8 \cdot 10^{-6}$ м приводит к снижению t_{\max} на 8°C (6%). При $\bar{\tau} = 2$ уменьшение t_{\max} составляет всего 3°C .

Увеличение N от 2 до 10 при $\bar{\tau} = 1,2$ и $h_{\text{п}} = 4 \cdot 10^{-6}$ м повышает t_{\max} на 6°C , при $h_{\text{п}} = 8 \cdot 10^{-6}$ м – на 2°C (рис.3). Таким образом, для выбранных условий трения при $N \geq 10$ и $\bar{\tau} > 2$ независимо от толщины покрытия увеличение t_{\max} практически не происходит.

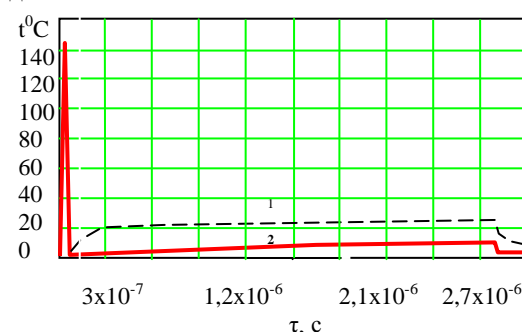


Рис.4. Изменение температуры вспышки t для единичной неровности при разрушении масляной пленки в зависимости от времени контактирования τ :
1 – без покрытия, 2 – с покрытием

Приведенные результаты получены при условии отсутствия разрушения смазки и последующего контактирования металлических поверхностей. Однако, если на контакте возникнет температура выше критической для разрушения смазки, то в расчете температурной вспышки масляная пленка не учитывается, и при оценке интенсивности теплового потока q_k принимается коэффициент трения для несмазанного покрытия, соответствующий реальным условиям контактирования.

В этом случае приведенные теплофизические характеристики при $\tau_k > \tau_m + \tau_{\text{п}}$ будут определяться по формулам:

$$\lambda_{\text{пр},\text{к}} = \left[\frac{h_{\text{п}}^*}{\lambda_{\text{п}}} + \frac{\delta_{\text{к}}^*}{\lambda_{\text{к}}} \right]^{-1}, \quad h_{\text{п}}^* = h_{\text{п}} / \epsilon_{\text{к},\text{эф}}, \\ \delta_{\text{к}}^* = (\epsilon_{\text{к},\text{эф}} - h_{\text{п}}) / \epsilon_{\text{к},\text{эф}}, \\ \epsilon_{\text{к},\text{эф}} = h_{\text{п}} + 1,73 \sqrt{a_{\text{к}} (\tau_{\text{к}} - \tau_{\text{м}} - \tau_{\text{п}})}.$$

На рисунке 4 показаны изменения температуры вспышки t для единичной неровности при разрушении смазки в зависимости от времени и раз-

личных видов трения. Коэффициент трения при граничной смазке, а также для несмазанной поверхности с покрытием принят равным $f_1=0,08$; для несмазанной поверхности без покрытия – $f_2=0,2$; $q_k=6,8 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^2$, $\tau_k=3 \cdot 10^{-6} \text{ с}$.

Остальные исходные данные приведены выше.

При наличии покрытия максимальное снижение температуры вспышки достигает 20°C , что будет способствовать предотвращению дальнейшего разрушения масляных пленок и снижению вероятности возникновения заедания на трущихся поверхностях. Что касается влияния на температуру вспышки отношения $\bar{\tau}$ и числа циклов нагружения N , то оно практически остается таким же, как и при неразрушенных масляных слоях.

Предложенные расчетные формулы были использованы для оценки влияния покрытия из электролитической меди на температурную вспышку на контакте неприработанных поверхностней ГЦ-ПК быстроходного дизеля при следующих основных исходных данных [2,6]: $\lambda_{\text{п}}=393 \text{ Вт/(мК)}$, $c_{\text{п}}=389 \text{ Дж/(кгК)}$, $\rho_{\text{п}}=8950 \text{ кг/м}^3$, $a_{\text{п}}=1,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$, контурное давление – $p_c=6,5 \text{ МПа}$, $\text{НВ}=0,4 \cdot 10^4 \text{ МПа}$, $E=2,1 \cdot 10^4 \text{ МПа}$, $f_1=0,08$, $f_2=0,2$, $t_k=120^\circ\text{C}$.

Приведенная комплексная характеристика шероховатостей – $\Delta=0,036$. Скорость скольжения – $V=1,7 \text{ м/с}$.

Предварительно найден вид деформации в зонах фактического контакта по известной формуле для контурного давления, приводящего к пластическому деформированию двух шероховатых поверхностей [1,2]:

$$p_{c.кp} \geq \frac{5,4^v}{2\Delta^v} \cdot \frac{\text{НВ}^{2v+1} (1-\mu^2)^{2v}}{E^{2v}}.$$

При $v=3,6$ и $\mu=0,3$ получим $p_{c.кp}=4,1 \text{ МПа}$.

Заданное контурное давление на контакте p_c превышает $p_{c.кp}$, поэтому в зоне контакта будут наблюдаться пластические деформации.

Значение отношения среднего расстояния между пятнами контакта s к среднему диаметру пятна контакта, т.е. $\bar{s}_c = s_c / d_c = \bar{\tau}$, при пластическом контакте находим как [8]:

$$\bar{\tau} = \frac{\sqrt{2\pi}}{2(p_c / \text{НВ})^{0,5}}.$$

Для принятых данных $\bar{\tau} = 31$, т.е. можно использовать единичную модель контакта.

Средний диаметр пятна контакта при пластическом деформировании [1,2]:

$$d_c = \frac{2\sqrt{2} \cdot r}{\sqrt{v}} \Delta^{0,5} (p_c / \text{НВ})^{\frac{1}{2}v}.$$

Для приведенного радиуса неровностей $r=41 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ средний диаметр пятна контакта равен $d_c=4,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}$. Тогда длительность контакта $\tau_k=d_c/V=2,8 \cdot 10^{-6} \text{ с}$.

Используя формулу (2) при $t_{\text{min}}=t_k$ после первого цикла нагружения найдем максимальную температуру поверхности трения в момент проникновения тепла на всю толщину масляной пленки ($\tau=\tau_k$) $t_{\text{max}}=275^\circ\text{C}$.

Если принять допустимую температуру поверхности трения равной 240°C , то в этом случае произойдет разрушение адсорбированного масляного слоя и образование металлического микроконтакта.

Из формулы (1) температура на фактическом пятне касания в конце однократного взаимодействия неровностей ($\tau=\tau_k$) равна:

для металлического контакта без покрытия $t_{\text{min}}=146^\circ\text{C}$, с покрытием $t_{\text{min}}=129^\circ\text{C}$.

Следовательно, наличие медного покрытия на поршневом кольце в условиях нарушения граничной смазки снижает температуру на контакте на 17°C (12%).

Выводы. 1. Предложена уточненная расчетная оценка влияния покрытия на неустановившуюся температурную вспышку в условиях скользящего контактирования при граничном или сухом трении с учетом теплофизических свойств слоистой структуры пары трения.

2. Приведены зависимости температуры вспышки на множественном контакте от толщины покрытия при различных значениях относительной продолжительности цикла нагружения и их числа. В условиях, когда относительная продолжительность цикла нагружения больше 2 и число циклов нагружения больше 10, можно использовать упрощенную (единичную) модель контакта.

3. Дан пример оценки влияния медного покрытия на температурную вспышку в паре трения гильза цилиндра – поршневое кольцо быстроходного дизеля. Установлено, что для выбранных условий трения наличие покрытия из электролитической меди на поршневом кольце приводит к снижению температуры поверхности на 12%, что снижает вероятность задира и износ пары трения гильза цилиндра – поршневое кольцо ДВС.

Список литературы:

1. Чичинадзе А.В. *Машиностроение: Трение, износ и смазка (трибология и триботехника)*: /А.В.Чичинадзе, Э.М.Берлинер, Э.Д.Браун; ред. А.В.Чичинадзе – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.
2. Крагельский И.В. *Трение, изнашивание и смазка: справочник в 2-х кн./ И.В.Крагельский, В.В.Алисин; ред. И.В.Крагельского. – М.: Машиностроение, 1978. – Кн.1. 1978. – 400с.*
- 3.

Крагельский И.В. Трение, изнашивание и смазка: справочник в 2-х кн..кн.2./И.В. Крагельский, В.В.Алисин; ред. И.В. Крагельского, В.В.Алинина. – М.: Машиностроение, 1979. – 358с. 4. Марченко А. П. Двигуни внутрішнього згорання : серія підручників у 6 т. Т. 1: Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин: підручник / А. П. Марченко, М. К. Рязанцев, А. Ф. Шеховцов; ред. А. П. Марченко, А. Ф. Шеховцов. – Харків : Прапор, 2004. – 384 с. 5. Щедров В.С. Трение и износ в машинах: Температура на скользящем контакте / В.С. Щедров. – М.: Изд-во АН СССР, 1955, т.10. С.155-296. 6. Пикус В.И. Оценка температур на фактическом пятне контакта в условиях ДВС/ В.И. Пикус, Б.С.Стефановский, В.Г. Новиков // Межвузовский сб. науч.тр. – Ярославль: ЯПИ. – 1976. – С.63-67. 7. Мышкин Н.К. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии / Н.К.Мышкин, М.И. Петроковец. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 368 с. 8. Заренбин В. Г. Расчет температурной вспышки при множественном контакте и граничной смазке / В. Г. Заренбин // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. –2011. – № 6-7 - С.12-16. 9. Пехович А.И., Жидких В.М. Расчеты теплого режима твердых тел / А.И. Пехович, В.М. Жидких. – Л.: Энергия, 1976. –352с.

mashinostroenie, Moscow, 576 p. 2. Kragel'skij I.V., Alisin V.V. 1978, Friction, wearing and lubrication. Manual. In 2 volumes. Book.1: engineering. [Trenie iznas hivanie i smazka] smaza: spravochnik v 2 knigah. Kniga 1]: mashinostroenie, Moscow, 400p. 3. Kragel'skij I.V., Alisin V.V. 1979, Friction, wearing and lubrication. Manual. In 2 volumes. Book.2: engineering. [Trenie iznas hivanie i smazka] smaza: spravochnik v 2 knigah. Kniga 2]: mashinostroenie, Moscow, 358p. 4. Marchenko, A.P., Ryazantsev, M.K. & Shekhovtsov, A.F. 2004, Internal combustion engines: textbook series 6 v. V. 1. Development of designs uprated engine ground transport vehicles: textbook [Dvyguny vnutrishn'ogo zgorjannja : serija pidruchnykiv u 6 t. T. 1 : Rozrobka konstrukcij forsovanyh dvyguniv nazemnyh transportnyh mashyn : pidruchnyk], Kharkiv, Prapor,384 p. 5. Schedrov V.S. 1955, Friction and wearing in machines: textbook t.10, publication AN USSR. Temperature on the slippery contact: textbook [Trenie i iznos v mashinah: t 10: temperatura na skol'zjashem kontakte] Moscow, izdatel'stvo SSSR, pp.155-296. 6. Pikus V.I., Stefanovsky B.S., Novikov V.G. 1976 «Estimation of temperature on the factual stain of contact in places of ICE», Interuniversity collection. scientific tr. [«Ocenka temperature na fakticheskom pjatne kontakta v uslovijah DVS», Megvuzovskij sbornik nauchnih trudov] Yaroslavl, pp. 63-67. 7. Mischkin N.K., Petrokovetz M.I. 2007, Friction, lubrication, wearing. Physical basics and technical additional of tribology [Trenie, smazka, iznos. Fizicheskie osnovi i tehniczeskie prilozhenija tribologii], Moscow, FIZMATLIT, 368 p. 8. Zarenbin, V.G. 2011 «Accounting of temperature spark under multi-connection and bound lubrication», Newspaper Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture [«Raschet temperaturnoj vspysyki pri mnozhestvennom kontakte i granichnoj smazke», Visnyk Prydniprov's'koi' derzhavnoi' akademii' budivnyctva ta arhitektury], № 6-7 - pp.12-16. 9. Pechoviz A.I., Zhidkih V.M. 1976, Accounting the warm regime in solid bodies [Rascheti teplovogo regima tverdyh tel], Leningrad, Energia, 352 p.

Bibliography (transliterated):

1. Chichinadze A.V. Chichinadze, E.M. Berliner, E.D. 2003, Friction: wearing and lubrication (tribology and tribotechnics): engineering.[Trenie, iznos I smaza (tribologija i tribotehnika)]:

Поступила в редакцию 03.06.2016 г.

Заренбін Володимир Георгійович – д.т.н., професор, завідувач кафедри експлуатації та ремонту машин Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, Дніпропетровськ, Україна, e-mail: zvg@mail.pgasa.dp.ua.

Колеснікова Тетяна Миколаївна – к.т.н., доцент кафедри експлуатації та ремонту машин Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, Дніпропетровськ, Україна, e-mail: tnk2704@mail.ru.

ОЦІНКА ВПЛИВУ ПОКРИТТЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ СПАЛАХУ НА КОВЗНОМУ КОНТАКТІ

В.Г. Заренбін, Т.М. Колеснікова

Запропонована уточнена розрахункова оцінка впливу покриття на несталый температурний спалах в умовах ковзаючого контактування при граничному або сухому терті з урахуванням теплофізичних властивостей шаруватої структури пари тертя. Приведені залежності температури спалаху на множинному контакті від товщини покриття при різних значеннях відносної тривалості циклу вантаження і їх числа. Даний приклад оцінки впливу мідного покриття на температурний спалах в парі тертя гільза циліндра - поршневе кільце швидкохідного дизеля.

ESTIMATION OF INSLUENCE OF A COVERING ON FLASH TEMPERATURE ON SLIDING CONTACT

V.G. Zarenbin, T.N. Kolesnikova

Offered acute accounting estimation of influence of covering on unsettle temperature flash in the environment of slippery contact under the bound and dry friction which includes thermal features of multilayer structure of friction parts. Indicated dependences of flash's temperature on the multilayer contact from thickness of covering under the different marks of relative continuation of loading cycle and their amount. Represented the example of estimation of influence of copper covering on the temperature flash in the parts of friction of cylinder's sleeve – piston's ring of fast-moving diesel.