

УДК 621.891: 621.762

## О предельной средней температуре поверхности сухого скольжения стали под электрическим током высокой плотности

М.И. Алеутдинова, В.В. Фадин, А.В. Колубаев

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,  
пр. Академический, 2/4, г. Томск 634055, Россия

Поступила в редакцию 11.06.2021.

После доработки 17.02.2022.

Принята к публикации 21.02.2022.

Рассмотрено сухое скольжение образцов стали Ст3 по закалённому стальному контртелу под электрическим током по схеме «rip-on-ting». Обнаружено, что поверхностный слой пластически деформировался при скольжении с плотностью тока более  $80 \text{ A/cm}^2$ . Это приводило к образованию трибослоя, толщина которого достигала  $20 \text{ мкм}$  при увеличении плотности тока до  $280 \text{ A/cm}^2$ , когда началось катастрофическое изнашивание. Одновременно наблюдался рост средней температуры контакта, которая была найдена с помощью пяти термопар, расположенных на оси образца, а также применяя метод инфракрасной термографии. Установлено, что средняя температура контакта сталь/сталь не превышает  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  под воздействием тока плотностью  $200\text{—}600 \text{ A/cm}^2$  в контакте. Скольжение под током плотностью менее  $80 \text{ A/cm}^2$  не приводило к заметной пластической деформации поверхностного слоя, трибослой отсутствовал и износ был близок к нулю. Было показано, что пластическая деформация трибослоя приводила к образованию двух секторов на поверхности скольжения образца. Один из секторов имел признаки деформации по механизму вязкой жидкости без видимых признаков адгезии. На другом секторе поверхности трения были видны следы адгезии и пластического оттеснения микронеровностями контртела. В режиме катастрофического изнашивания электропроводность контакта уменьшалась, но не достигала нуля. Температура контакта не достигала  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ . Невозможность заметного увеличения температуры контакта связана с сильным теплоотводом за счёт высокой интенсивности изнашивания. Сделано предположение, что задание внешнего воздействия (высокие температура окружающей среды, давление, плотность тока и т.п.), приводящего к увеличению температуры контакта до  $350\text{—}400 \text{ }^\circ\text{C}$  вызовет катастрофическое изнашивание стали или других металлов.

**Ключевые слова:** средняя температура контакта, инфракрасная термография, трибослой, вязкая жидкость, скользящий электрический контакт.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-1-51-58

**Адрес для переписки:**

М.И. Алеутдинова  
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,  
просп. Академический, 2/4, г. Томск 634055, Россия  
e-mail: aleut@ispms.ru

**Address for correspondence:**

M.I. Aleutdinova  
Institute of Strength Physics and Materials Science Siberian Branch of  
Russian Academy of Science (ISPMS SB RAS),  
pr. Akademicheskii, 2/4, Tomsk 634055, Russia  
e-mail: aleut@ispms.ru

**Для цитирования:**

М.И. Алеутдинова, В.В. Фадин, А.В. Колубаев.  
О предельной средней температуре поверхности сухого  
скольжения стали под электрическим током высокой плотности.  
Трение и износ.  
2022. – Т. 43, № 1. – С. 51–58.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-1-51-58

**For citation:**

M.I. Aleutdinova, V.V. Fadin, and A.V. Kol.  
[On Average Temperature Limits of Dry Sliding Surface of Steel under  
High-Density Electric Current].  
Trenie i Iznos.  
2022, vol. 43, no. 1, pp. 51–58 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-1-51-58

# On Average Temperature Limits of Dry Sliding Surface of Steel under High-Density Electric Current

M.I. Aleutdinova, V.V. Fadin and A.V. Kolubaev

*Institute of Strength Physics and Materials Science Siberian Branch of Russian Academy of Science (ISPMS SB RAS),  
pr. Akademicheskii, 2/4, Tomsk 634055, Russia*

Received 11.06.2021.

Revised 17.02.2022.

Accepted 21.02.2022.

Dry sliding of AISI 1020 steel samples against a hardened steel counterbody under electric current was carried out according to the “pin-on-ring” scheme. It was found that the surface layer was plastically deformed in sliding with a current density of higher 80 A/cm<sup>2</sup>. This led to the formation of a tribolayer, a thickness of the tribolayer reached 20 μm as the current density increased to 280 A/cm<sup>2</sup>, when catastrophic wear began. At the same time, an increase in the average contact temperature was observed, which was found by using five thermocouples, placed on the sample axis, as well as using the infrared thermography method. It was established that the average steel/steel contact temperature does not exceed 400 °C under the current of density of 200–600 A/cm<sup>2</sup> in the contact. Sliding under a current of density lower 80 A/cm<sup>2</sup> did not lead to noticeable plastic deformation of the surface layer, the tribolayer was absent and the wear was close to zero. It was shown that the plastic deformation of the tribolayer led to the formation of two sectors on the sliding surface of the AISI 1020 steel sample. One of the sectors showed signs of deformation according to the viscous fluid mechanism without visible signs of adhesion. Traces of adhesion and plastic displacement by asperities of the counterbody were visible on another sector of the friction surface. The electrical conductivity of the contact decreased but did not reach zero in the mode of catastrophic wear. The contact temperature did not reach 400 °C. The impossibility of a noticeable increase in the contact temperature is associated with a strong heat removal due to the high wear intensity. Therefore, it can be assumed that setting of external impact (high ambient temperature, pressure, current density, etc.), leading to an increase in the contact temperature to 350–400 °C, will necessarily cause catastrophic wear of steel or other metals.

**Keywords:** average contact temperature, infrared thermography, tribolayer, viscous liquid, sliding electric contact.

DOI:10.32864/0202-4977-2022-43-1-51-58

---

**Адрес для переписки:**

М.И. Алеутдинова  
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,  
пр. Академический, 2/4, г. Томск 634055, Россия  
e-mail: aleut@ispms.ru

---

**Address for correspondence:**

M.I. Aleutdinova  
Institute of Strength Physics and Materials Science Siberian Branch of  
Russian Academy of Science (ISPMS SB RAS),  
pr. Akademicheskii, 2/4, Tomsk 634055, Russia  
e-mail: aleut@ispms.ru

---

**Для цитирования:**

М.И. Алеутдинова, В.В. Фадин, А.В. Колубаев  
О предельной средней температуре поверхности сухого  
скольжения стали под электрическим током высокой плотности.  
Трение и износ.  
2022. – Т. 43, № 1. – С. 51–58.  
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-1-51-58

---

**For citation:**

M.I. Aleutdinova, V.V. Fadin, and A.V. Kolubaev  
[On Average Temperature Limits of Dry Sliding Surface of Steel under  
High-Density Electric Current].  
*Trenie i Iznos.*  
2022, vol. 43, no. 1, pp. 51–58 (in Russian).  
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-1-51-58

## Список использованных источников

1. **Kragelsky I.V., Dobychin M.N., and Kombarov V.S.** Friction and Wear Calculation Methods. — New York: Pergamon Press. — 1982
2. **Fadin V.V., Aleutdinova M.I., and Kolubaev A.V.** Effect of High-Density Electric Current on Wear and Average Temperature of Steel/Steel Triboelectric Contact // Journal of Friction and Wear. — 2018 (39), no. 4, 294—298. DOI: 10.3103/S1068366618040050
3. **Kennedy F.E., Lu Yu., and Baker I.** Contact Temperatures and Their Influence on Wear during Pin-on-Disk Tribotesting // Tribology International. — 2015 (82), 534—542
4. **Hirasata K., Hayashi K., and Inamoto Y.** Friction and Wear of Several Kinds of Cast Irons under Severe Sliding Conditions // Wear. — 2007 (263), 790—800
5. **Буренин А.А., Ковтанюк Л.В., Панченко Г.Л.** Развитие и торможение вязкопластического течения в слое при его нагреве за счёт трения о шероховатую поверхность // ПМТФ. — 2015 (56), № 4, 101—111
6. **Шугай А.А.** Трение твёрдых тел с образованием расплава // Инж.-физ. ж. — 1999 (72), № 5, 995—1003
7. **Fadin V.V., Aleutdinova M.I., Potekaev A.I., and Kulikova O.A.** The Surface Layer States in Metallic Materials Subjected to Dry Sliding and Electric Current // Russian Physics Journal. — 2017 (60), no. 5, 908—914
8. **Enthoven J.C., Cann P.M., and Spikes H.A.** Temperature and Scuffing // Tribology Transactions. — 1993 (36), no. 2, 258—266
9. **Braunovich M., Konchits V.V., and Myshkin N.K.** Electrical Contacts. Fundamentals, Applications and Technology. — New York: CRC Press. — 2007
10. **Fua L., Han W., Zhao L., Gong K. et al.** Effects of Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> Content and Temperature on Sliding Friction and Wear behaviors of Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>/Ni<sub>3</sub>Al Composite Materials // Wear. — 2018 (414-415), 163—173

## References

1. **Kragelsky I.V., Dobychin M.N., and Kombarov V.S.** Friction and Wear Calculation Methods. — New York: Pergamon Press. — 1982
2. **Fadin V.V., Aleutdinova M.I., and Kolubaev A.V.** Effect of High-Density Electric Current on Wear and Average Temperature of Steel/Steel Triboelectric Contact // Journal of Friction and Wear. — 2018 (39), no. 4, 294—298. DOI: 10.3103/S1068366618040050
3. **Kennedy F.E., Lu Yu., and Baker I.** Contact Temperatures and Their Influence on Wear during Pin-on-Disk Tribotesting // Tribology International. — 2015 (82), 534—542
4. **Hirasata K., Hayashi K., and Inamoto Y.** Friction and Wear of Several Kinds of Cast Irons under Severe Sliding Conditions // Wear. — 2007 (263), 790—800
5. **Burenin A.A., Kovtanyuk L.V., Panchenko G.L.** Razvitie i tormozhenie vyazkoplasticheskogo techeniya v sloe pri ego nagreve za schyot treniya o sherohovatuyu poverhnost' // PMTF. — 2015 (56), № 4, 101—111 (in Russian)
6. **Shugaj A.A.** Trenie tvyordyh tel s obrazovani-em rasplava // Inzh.-fiz. zh. — 1999 (72), № 5, 995—1003 (in Russian)
7. **Fadin V.V., Aleutdinova M.I., Potekaev A.I., and Kulikova O.A.** The Surface Layer States in Metallic Materials Subjected to Dry Sliding and Electric Current // Russian Physics Journal. — 2017 (60), no. 5, 908—914
8. **Enthoven J.C., Cann P.M., and Spikes H.A.** Temperature and Scuffing // Tribology Transactions. — 1993 (36), no. 2, 258—266
9. **Braunovich M., Konchits V.V., and Myshkin N.K.** Electrical Contacts. Fundamentals, Applications and Technology. — New York: CRC Press. — 2007
10. **Fua L., Han W., Zhao L., Gong K. et al.** Effects of Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> Content and Temperature on Sliding Friction and Wear behaviors of Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>/Ni<sub>3</sub>Al Composite Materials // Wear. — 2018 (414-415), 163—173

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в редакцию журнала.  
Адрес редакции: 246050, ул. Кирова 32а, г. Гомель, Беларусь. Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11  
Full text of articles can be purchased from the editorial office.  
Address: 32a Kirov Street, Gomel, Belarus, 246050. Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11  
E-mail: [FWJ@tut.by](mailto:FWJ@tut.by)