

УДК: 669.58, 621.8.031.6

## Влияние структуры, шероховатости, микротвердости и коэффициента трения цинкового покрытия на момент затяжки резьбового соединения

В.В. Ефремов, О.С. Бондарева, О.С. Добычина, К.К. Пилла

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева,  
Московское шоссе, 34, г. Самара 443086, Россия

Поступила в редакцию 28.06.2023.

После доработки 10.10.2023.

Принята к публикации 13.10.2023.

Исследованы образцы крепежа — болты, гайки и шайбы с цинковым покрытием, нанесённым различными способами, а именно гальваническим, термодиффузионным, газотермическим, горячим цинкованием в расплаве цинка и в расплаве гальфан ( $Zn + 5\% Al$ ), а также с цинк-ламелльным покрытием. Получены данные шероховатости, микротвёрдости и коэффициента трения цинковых покрытий. Установлено, что наибольшей твёрдостью обладает термодиффузионное покрытие, а наименьшей — покрытие, полученное горячим цинкованием в расплаве цинка. Максимальная шероховатость  $R_a$  наблюдается у газотермического и термодиффузионного покрытия. Наименьшая шероховатость у покрытий, полученных горячим цинкованием и гальваническим осаждением. Коэффициенты трения покрытий изучали в геометрии палец–диск для всех видов покрытий. Установлено, что наибольший коэффициент трения имеют цинк-ламелльное и термодиффузионное покрытия, а наименьший — газотермическое покрытие и полученное горячим цинкованием. Рассчитаны номинальные моменты затяжки для болтов М3, М10 и М16. Установлено, что момент затяжки покрытий, нанесённых методом горячего цинкования в расплаве цинка и газотермическим напылением, соответствует нормам РД 37.001.131–89. У остальных покрытий коэффициент трения требует корректировки за счёт использования смазки или нанесения дополнительных покрытий. Полученные результаты могут использоваться при выборе цинкового покрытия для крепёжных изделий.

**Ключевые слова:** цинковые покрытия, крепёж, коэффициент трения, момент затяжки, микротвёрдость, шероховатость.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-5-456-462

---

**Адрес для переписки:**

О.С. Бондарева  
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева,  
Московское шоссе, 34, г. Самара 443086, Россия  
e-mail: osbond@yandex.ru

**Address for correspondence:**

O.S. Bondareva  
Samara National Research University,  
Moskovskoe shosse, 34, Samara 443086, Russia  
e-mail: osbond@yandex.ru

---

**Для цитирования:**

В.В. Ефремов, О.С. Бондарева, О.С. Добычина, К.К. Пилла  
Влияние структуры, шероховатости, микротвердости и коэффициента трения цинкового покрытия на момент затяжки резьбового соединения.  
Трение и износ.  
2023. — Т. 44, № 5. — С. 456–462.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-5-456-462

**For citation:**

V.V. Efremov, O.S. Bondareva, O.S. Dobychina, and C.K. Pilla  
[Influence of Structure, Roughness, Microhardness and Friction Coefficient of Zinc Coating on the Tightening Torque of a Threaded Connection].  
*Trenie i Iznos*.  
2023, vol. 44, no. 5, pp. 456–462 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-5-456-462

# Influence of Structure, Roughness, Microhardness and Friction Coefficient of Zinc Coating on the Tightening Torque of a Threaded Connection

V.V. Efremov, O.S. Bondareva, O.S. Dobychina, and C.K. Pilla

Samara National Research University,  
Moskovskoe shosse, 34, Samara 443086, Russia

Received 28.06.2023.

Revised 10.10.2023.

Accepted 13.10.2023.

## Abstract

Samples of fasteners were studied — bolts, nuts and washers with a zinc coating applied in various ways, namely galvanic, thermal diffusion, gas thermal, hot galvanizing in molten zinc and in melt galfan (Zn + 5 % Al), as well as with zinc lamellar coating. Data on roughness, microhardness and friction coefficient of zinc coatings were obtained. It has been established that the thermal diffusion coating has the greatest hardness, and the coating obtained by hot-dip galvanizing in molten zinc has the least hardness. The maximum roughness  $R_a$  is observed in gas-thermal and thermal-diffusion coatings. The lowest roughness is found in coatings obtained by hot-dip galvanizing and galvanic deposition. The friction coefficients of coatings were studied in finger-disk geometry for all types of coatings. It has been established that zinc-lamella and thermal diffusion coatings have the highest coefficient of friction, and the lowest — gas-thermal coating and those obtained by hot-dip galvanizing. The nominal tightening torques for bolts M3, M10 and M16 are calculated. It has been established that the tightening torque of coatings applied by hot-dip galvanizing in molten zinc and gas-thermal spraying complies with the standards of RD 37.001.131–89. For other coatings, the friction coefficient requires adjustment through the use of lubricants or the application of additional coatings. The results obtained can be used when choosing a zinc coating for fasteners.

**Keywords:** zinc coatings, fasteners, friction coefficient, tightening torque, microhardness, roughness.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-5-456-462

---

### Адрес для переписки:

О.С. Бондарева  
Самарский национальный исследовательский университет имени  
академика С.П. Королева,  
Московское шоссе, 34, г. Самара 443086, Россия  
e-mail: osbond@yandex.ru

### Address for correspondence:

O.S. Bondareva  
Samara National Research University,  
Moskovskoe shosse, 34, Samara 443086, Russia  
e-mail: osbond@yandex.ru

---

### Для цитирования:

В.В. Ефремов, О.С. Бондарева, О.С. Добычина, К.К. Пилла  
Влияние структуры, шероховатости, микротвердости и  
коэффициента трения цинкового покрытия на момент затяжки  
резьбового соединения.  
Трение и износ.  
2023. — Т. 44, № 5. — С. 456–462.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-5-456-462

### For citation:

V.V. Efremov, O.S. Bondareva, O.S. Dobychina, and C.K. Pilla  
[Influence of Structure, Roughness, Microhardness and Friction  
Coefficient of Zinc Coating on the Tightening Torque of a Threaded  
Connection].  
*Trenie i Iznos*.  
2023, vol. 44, no. 5, pp. 456–462 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-5-456-462

## Список использованных источников

1. **Полькин В.И.** Цинк для защиты от коррозии // Фундаменты. — 2021, № 1, 68—71
2. **Pola A., Tocci M., and Goodwin F.E.** Review of Microstructures and Properties of Zinc Alloys // Metals. — 2020 (10), no. 2, 16
3. **Chung P.P., Wang J., and Durandet Y.** Deposition Processes and Properties of Coatings on Steel Fasteners // Friction. — 2019 (7), 389—416
4. **Croccolo D., De Agostinis M., and Fini S.** Tribological Properties of Bolts Depending on Different Screw Coatings and Lubrications: An Experimental Study // Tribol. Int. — 2017 (107), 199—205
5. **Елманов И.М., Даровской Г.В.** Повышение точности определения коэффициента трения на машинах трения типа Амслер // Трение и износ. — 2009 (30), № 4, 405—413
6. **Nassar S.A. and Zaki A.M.** Effect of Coating Thickness on the Friction Coefficients and Torque-Tension Relationship in Threaded Fasteners // J. Tribol. — 2009 (131), no. 2, 205—216
7. **Jiang K., Liu Z., Yang C., Zhang C., and Tian Y.** Effects of the Joint Surface Considering Asperity Interaction on the Bolted Joint Performance in the Bolt Tightening Process // Tribol. Int. — 2022 (167), 160—168
8. **Булойчик И.А., Константинов В.М.** Влияние термодиффузионного цинкования на эксплуатационные свойства термически обработанных стальных изделий // Литье и металлургия. — 2020, № 4, 131—138
9. **Satyendra Y.** Performance Observation of Hot Dip Galvanization for Steel Sheets // Materials Today: Proceedings. — 2021 (46), 6700—6703
10. **Swain R.K., Upadhyay P., Nag A., Banerjee A., Bhagat A.N., Basu A., and Mallik A.** Electro-Galvanization of Zinc and Zinc-Nickel onto Mild Steel for Improved Corrosion Resistance // Materials Today: Proceedings. — 2022 (62), 6257—6264
11. **Arman S.Y., Ramezanzadeh B., Farghadani S., Mehdipour M., and Rajabi A.** Application of the Electrochemical Noise to Investigate the Corrosion Resistance of an Epoxy Zinc-Rich Coating Loaded with Lamellar Aluminum and Micaceous Iron Oxide Particles // Corrosion Science. — 2013 (77), 118—127
12. **Xiqiang Z., Ruijie L., Guanghua L., and Wei P.** Zinc Coating on Steel by Atmosphere Plasma Spray and Their Anti-Corrosion Behavior // Materials Letters. — 2022 (314), 3—7

## References

1. **Polkin V.I.** Zinc dlya zaschityot korrozii // Fundamenty. — 2021, № 1, 68—71 (in Russian)
2. **Pola A., Tocci M., and Goodwin F.E.** Review of Microstructures and Properties of Zinc Alloys // Metals. — 2020 (10), no. 2, 16
3. **Chung P.P., Wang J., and Durandet Y.** Deposition Processes and Properties of Coatings on Steel Fasteners // Friction. — 2019 (7), 389—416
4. **Croccolo D., De Agostinis M., and Fini S.** Tribological Properties of Bolts Depending on Different Screw Coatings and Lubrications: An Experimental Study // Tribol. Int. — 2017 (107), 199—205
5. **Elmanov I.M. and Darovskoi G.V.** Improvement of the Accuracy of Friction Coefficient Determination with Amsler-Type Friction Machines // Journal Friction and Wear. — 2009 (30), no. 4, 297—304
6. **Nassar S.A. and Zaki A.M.** Effect of Coating Thickness on the Friction Coefficients and Torque-Tension Relationship in Threaded Fasteners // J. Tribol. — 2009 (131), no. 2, 205—216
7. **Jiang K., Liu Z., Yang C., Zhang C., and Tian Y.** Effects of the Joint Surface Considering Asperity Interaction on the Bolted Joint Performance in the Bolt Tightening Process // Tribol. Int. — 2022 (167), 160—168
8. **Buloichik I.A., Konstantinov V.M.** Vliyanie termodiffuzionnogo zincovaniya na expluatacionnye svoystva termicheskii obrabotannyh stalnyh izdeliy // Litye I Metallurgiya. — 2020, № 4, 131—138 (in Russian)
9. **Satyendra Y.** Performance Observation of Hot Dip Galvanization for Steel Sheets // Materials Today: Proceedings. — 2021 (46), 6700—6703
10. **Swain R.K., Upadhyay P., Nag A., Banerjee A., Bhagat A.N., Basu A., and Mallik A.** Electro-Galvanization of Zinc and Zinc-Nickel onto Mild Steel for Improved Corrosion Resistance // Materials Today: Proceedings. — 2022 (62), 6257—6264
11. **Arman S.Y., Ramezanzadeh B., Farghadani S., Mehdipour M., and Rajabi A.** Application of the Electrochemical Noise to Investigate the Corrosion Resistance of an Epoxy Zinc-Rich Coating Loaded with Lamellar Aluminum and Micaceous Iron Oxide Particles // Corrosion Science. — 2013 (77), 118—127
12. **Xiqiang Z., Ruijie L., Guanghua L., and Wei P.** Zinc Coating on Steel by Atmosphere Plasma Spray and Their Anti-Corrosion Behavior // Materials Letters. — 2022 (314), 3—7

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)