

УДК 620.1.051+ 669-122.2

## Метод определения коэффициента трения при холодной прокатке особо тонких листов

В.А. Томило<sup>1</sup>, С.В. Пилипенко<sup>2</sup>, А.В. Дудан<sup>2</sup>, О.П. Штемпель<sup>2</sup>, Т.В. Вигерина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный технический университет (БНТУ),  
пр. Независимости, 65, г. Минск 220013, Беларусь

<sup>2</sup>Полоцкий государственный университета имени Евфросинии Полоцкой,  
ул. Блохина, д. 29, г. Новополоцк 211443, Витебская обл., Беларусь

Поступила в редакцию 08.02.2024.

После доработки 15.06.2024.

Принята к публикации 18.06.2024.

В работе выполнен анализ исследований, связанных с методами измерения коэффициента трения при продольной прокатке. Разработана методика проведения эксперимента определения величины коэффициента трения, между материалом валков реверсивного стана RCM-1250 (сталь рабочих валков — аналог стали 60С2ХФА) и образцом отожжённой полосы, толщиной 0,224 мм, из марки стали TS-435 (аналог стали 08пс, ГОСТ 1050). Выбранные условия трения — полужидкостное трение. В опыте использовалась эмульсия, на основе смазывающе-охлаждающей жидкости, типа Quaker 2185, используемая на реверсивном стане RCM-125. В эксперименте использовались два типа кольцевидных образцов, изготовленных из материала валков: с толщиной стенки  $S = 4$  мм и  $S = 2$  мм. Результаты экспериментов показали, что применение кольцевого образца с  $S = 4$  мм — более целесообразно с точки зрения стабильности создаваемых условий трения. Определено рекомендуемую среднюю величину коэффициента трения между вышеуказанными материалами валков и полосы:  $f_{cp} = 0,038$ . В ходе эксперимента значения коэффициента трения колебались в границах: от минимальной в  $f_{min} = 0,012$ , до максимальной в  $f_{max} = 0,048$ . В целом, данные результатов экспериментов коррелируются со справочными данными о величине коэффициента трения для такого вида прокатки и результатами других описанных в литературе экспериментов, проведенных в схожих условиях трения. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что при оценке смазывающей способности различных смазывающе-охлаждающих жидкостей, применение универсальных машин трения, описанной в работе конструкции — является целесообразным.

**Ключевые слова:** холодная прокатка, особо тонкие полосы, угол захвата, коэффициент трения, полужидкостное трение, сухое трение, машина трения.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2024-45-3-220-226

---

**Адрес для переписки:**

С.В. Пилипенко  
Полоцкий государственный университета  
имени Евфросинии Полоцкой,  
ул. Блохина, д. 29, г. Новополоцк 211443, Витебская обл., Беларусь  
e-mail: 44-08@mail.ru

**Address for correspondence:**

S.V. Pilipenko  
Euphrosyne Polotskaya state university of Polotsk,  
st. Blokhina, 29, Novopolotsk 211443, Vitebsk region, Belarus  
e-mail: 44-08@mail.ru

---

**Для цитирования:**

В.А. Томило, С.В. Пилипенко, А.В. Дудан, О.П. Штемпель,  
Т.В. Вигерина.  
Метод определения коэффициента трения при холодной прокатке  
особо тонких листов.  
Трение и износ.  
2024. — Т. 45, № 3. — С. 220—226.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2024-45-3-220-226

**For citation:**

V.A. Tomilo, S.V. Pilipenko, A.V. Dudan, O.P. Shtempel, and  
T.V. Vigerina.  
[Method for Determination of Friction Coefficient During Cold Rolling  
of Extra Thin Sheets].  
Trenie i Iznos.  
2024, vol. 45, no. 3, pp. 220—226 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2024-45-3-220-226

# Method for Determination of Friction Coefficient During Cold Rolling of Extra Thin Sheets

V.A. Tomilo<sup>1</sup>, S.V. Pilipenko<sup>2</sup>, A.V. Dudan<sup>2</sup>, O.P. Shtempel<sup>2</sup>, and T.V. Vigerina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, (BNTU),  
pr. Nezavisimosti, 65, Minsk 220013, Belarus

<sup>2</sup>Euphrosyne Polotskaya state university of Polotsk,  
st. Blokhina, 29, Novopolotsk 211443, Vitebsk region, Belarus

Received 08.02.2024.

Revised 15.06.2024.

Accepted 18.06.2024.

## Abstract

The method is aimed at comparing the lubricating capacity of different emulsions. The purpose of the work is to evaluate the possibility of using a universal friction machine, type MMW-1A, to determine the value of the friction coefficient in the cold rolling of very thin strips of carbon steel. The article analyzes the research related to the methods of measuring the friction coefficient in lengthwise rolling. The methodology of experiment determination of friction coefficient value between the material of RCM-1250 reversing mill rolls (steel of working rolls — analog of 60S2HFA steel) and the sample of annealed strip, 0,224 mm thick, made of TS-435 steel grade (analog of 08ps steel, GOST 1050) has been developed. The selected friction conditions are semi-fluid friction. The experiment applied the emulsion, based on the lubricating-cooling liquid, such as Quaker 2185, and used on the reversing mill RCM-125. Two types of ring-shaped samples made of roll material were used in the experiment: with wall thicknesses of  $S = 4$  mm and  $S = 2$  mm. The results of the experiments showed that the use of the ring-shaped sample with  $S = 4$  mm is more reasonable from the point of view of stability of the created friction conditions. The recommended average value of friction coefficient between the above materials of rolls and strip was determined:  $f_{cf} = 0,038$ . In the course of the experiment the values of the friction coefficient fluctuated within the boundaries: from the minimum of  $f_{min} = 0,012$ , to the maximum of  $f_{max} = 0,048$ . In general, these experimental results are correlated with reference data on the value of the friction coefficient for this type of rolling and the results of other experiments described in the literature, conducted under similar friction conditions. Proceeding from this, it is possible to draw a conclusion that at estimation of lubricating capacity of various lubricating-cooling liquids, application of universal friction machines of the design described in the article is expedient.

**Keywords:** cold rolling, extra thin strips, gripping angle, friction coefficient, semi-liquid friction, dry friction, friction machine.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2024-45-3-220-226

---

### Адрес для переписки:

С.В. Пилипенко  
Полоцкий государственный университета  
имени Евфросинии Полоцкой,  
ул. Блохина, д. 29, г. Новополоцк 211443, Витебская обл., Беларусь  
e-mail: 44-08@mail.ru

### Address for correspondence:

S.V. Pilipenko  
Euphrosyne Polotskaya state university of Polotsk,  
st. Blokhina, 29, Novopolotsk 211443, Vitebsk region, Belarus  
e-mail: 44-08@mail.ru

---

### Для цитирования:

В.А. Томило, С.В. Пилипенко, А.В. Дудан, О.П. Штемпель,  
Т.В. Вигерина.

Метод определения коэффициента трения при холодной прокатке  
особо тонких листов.

Трение и износ.  
2024. — Т. 45, № 3. — С. 220—226.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2024-45-3-220-226

### For citation:

V.A. Tomilo, S.V. Pilipenko, A.V. Dudan, O.P. Shtempel, and  
T.V. Vigerina.

[Method for Determination of Friction Coefficient During Cold Rolling  
of Extra Thin Sheets].

*Trenie i Iznos*.  
2024, vol. 45, no. 3, pp. 220—226 (in Russian).

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2024-45-3-220-226

## Список использованных источников

1. **Никитин Г.С.** Теория непрерывной продольной прокатки. — М: Изд-во МГТУ им. Н.Е. Баумана. — 2009
2. **Mazur V.L. and Nogovitsyn O.V.** Theory and Technology of Sheet Rolling: Numerical Analysis and Applications. — London: CRS Press. — 2019
3. **Пилипенко С.В.** Теоретические основы холодной пильгерной прокатки труб. — Новополюцк: Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой. — 2022
4. **Patel A., Malik A., and Mathews R.** Efficient Three-Dimensional Model to Predict Time History of Structural Dynamics in Cold Rolling Mills // Journal of Manufacturing Science and Engineering. — 2023 (144), 1—17
5. **Sidelnikov S.B., Galiev R.I., Bepalov V.M., and Samchuk A.P.** Determining Power-Energy Parameters of Combined Rolling-Extrusion Process for Low-Plastic Aluminium Alloys // Non-Ferrous Metals. — 2018 (44), 30—36
6. **Томило В.А., Пилипенко С.В., Дудан А.В.** Утилизация бывших в употреблении труб холодной прокаткой // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2022 (333), 118—125
7. **Sidelnikov S., Galiev R., Lopatina E., and Samchuk A.** Analysis of Energy-Force Parameters of Combined Processing for Receiving Modifying Bars from Al-5Ti-1B Alloy // Non-Ferrous Metals. — 2017 (42), 30—35
8. **Иванов В.П., Пилипенко С.В., Штемпель О.П., Вигерина Т.В.** Неравномерность микротвердости и микроструктуры малоуглеродистой стали, прокатанной на двухклетевом прокатно-дрессировочном стане // Frontier Materials & Technologies. — 2023 (2), 35—45
9. **Shen S., Guye D., Ma X., Yue S., and Armanfar N.** Multistep Networks for Roll Force Prediction in Hot Strip Rolling Mill // Machine Learning with Applications. — 2022 (7), 100245
10. **Kurpe O., Kukhar V., and Klimov E.** Improvement of Process Parameters Calculation for Coil Rolling at the Steckel Mill // Materials Science Forum. — 2020. (989), 609—614
11. **Jacobs L.J.M., Van der Lugt J., and Rooij M.B.** Contribution of Viscous Shear to Friction in Cold Rolling of Low-Carbon Steel // Tribology International. — 2017 (191), 109102
12. **Samodurova M.N., Karandaeva O.I., Khrashin V.R., and Liubimov I.V.** Calculating Power Parameters of Rolling Mill Based on Model of Deformation Zone with Four-Roll Passes // Machines. — 2020 (8), 73
13. **Грудев А.Г., Зимберг Ю.В., Тилик В.Т.** Трение и смазки при обработке металлов давлением: справ. — М.: Металлургия. — 1982
14. **Рудской А.И., Лунев В.А.** Теория и технология прокатного производства. — Санкт-Петербург: Лань. — 2020

15. **Чистяков Д. Н., Антонов П. В., Болобанова Н.Л.** Испытание и внедрение нового эмульсола на непрерывном пятиклетевом стане 1700 холодной прокатки // Сталь. — 2020 (10), 31—33

## References

1. **Nikitin H.S.** Teoriya nepreryvnoy prodolnoy prokatki — M: Publishing house of BMSTU. — 2009 (in Russian)
2. **Mazur V.L. and Nogovitsyn O.V.** Theory and Technology of Sheet Rolling: Numerical Analysis and Applications. — London: CRS Press. — 2019
3. **Pilipenko S.V.** Teoreticheskiye osnovy kholodnoy pil'gernoy prokatki trub. — Novopolotsk: Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk. — 2022 (in Russian)
4. **Patel A., Malik A., and Mathews R.** Efficient Three-Dimensional Model to Predict Time History of Structural Dynamics in Cold Rolling Mills // Journal of Manufacturing Science and Engineering. — 2023 (144), 1—17
5. **Sidelnikov S.B., Galiev R.I., Bepalov V.M., and Samchuk A.P.** Determining Power-Energy Parameters of Combined Rolling-Extrusion Process for Low-Plastic Aluminium Alloys // Non-Ferrous Metals. — 2018 (44), 30—36
6. **Tomilo V.A., Pilipenko S.V., Dudan A.V.** Utilizatsiya byvshih v upotreblenii trub kholodnoy prokatkoj // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University Geo Assets Engineering. — 2022 (333), 118—125 (in Russian)
7. **Sidelnikov S., Galiev R., Lopatina E., and Samchuk A.** Analysis of Energy-Force Parameters of Combined Processing for Receiving Modifying Bars from Al-5Ti-1B Alloy // Non-Ferrous Metals. — 2017 (42), 30—35
8. **Ivanov V.P., Pilipenko S.V., Shtempel O.P., Vigerina T.V.** Neravnomernost mикротвердости i mikrostruktury malouglerodistoy stali, prokatannoy na dvuhkletevom prokatno-dressirovochnom stane // Frontier Materials & Technologies. — 2023 (2), 35—45 (in Russian)
9. **Shen S., Guye D., Ma X., Yue S., and Armanfar N.** Multistep Networks for Roll Force Prediction in Hot Strip Rolling Mill // Machine Learning with Applications. — 2022 (7), 100245
10. **Kurpe O., Kukhar V., and Klimov E.** Improvement of Process Parameters Calculation for Coil Rolling at the Steckel Mill // Materials Science Forum. — 2020 (989), 609—614
11. **Jacobs L.J.M., Van der Lugt J., and Rooij M.B.** Contribution of Viscous Shear to Friction in Cold Rolling of Low-Carbon Steel // Tribology International. — 2017 (191), 109102
12. **Samodurova M.N., Karandaeva O.I., Khrashin V.R., and Liubimov I.V.** Calculating Power Parameters of Rolling Mill Based on Model of De-

- formation Zone with Four-Roll Passes // *Machines*. — 2020 (8), 73
13. **Grudev A.G., Zimberg Yu.V., Tilik V.T.** Трение и смазки при обработке металлов давлением. — М.: *Metallurgiya*. — 1982 (in Russian)
14. **Rudskoi A.I., Lunev V.A.** Теория и технология прокатного производства. — St. Petersburg: *Lan*. — 2020 (in Russian)
15. **Chistyakov D.N., Antonov P.V., Bolobanova N.L.** Испытание и внедрение нового эмульсора на непрерывном пятиклетевом стане 1700 холодной прокатки // *Stal*. — 2020 (10), 31—33 (in Russian)

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)