

УДК 621.9

## Влияние защитных покрытий пластин на силы резания при фрезеровании стали Гадфильда

А.С. Пятых, А.В. Савилов, С.А. Тимофеев, В.М. Свинин, И.Г. Майзель

Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
ул. Лермонтова, 83, г. Иркутск 664074, Россия

Поступила в редакцию 30.03.2023.

После доработки 26.05.2023.

Принята к публикации 20.06.2023.

Изучено влияние защитных покрытий сменных пластин из твёрдых сплавов на силы резания при фрезеровании аустенитной высокомарганцовистой стали Гадфильда (110Г13Л). Рассматривались твёрдые сплавы S30T, 1130 и S40T, 4240 с PVD и CVD покрытиями соответственно. Исследования выполнялись на фрезерном обрабатывающем центре с установленной на стол динамометрической плитой. Проведение эксперимента осуществлялось на основании ортогональной матрицы планирования. Для определения покрытия с лучшими характеристиками применялся метод Тагучи. Дисперсионный анализ показал, что наиболее важным фактором, влияющим на активную силу резания, является подача инструмента. Удельный вес подачи составил 65,22 %. На основании регрессионного анализа было установлено, что для механической обработки аустенитной нержавеющей стали 110Г13Л, с точки зрения обеспечения минимальных сил резания и надёжного прогнозирования сил резания на всём диапазоне режимов резания, предпочтительным является сплав S30T с защитным PVD покрытием из TiAlN. Полученные результаты позволят повысить эффективность обработки изделий из стали Гадфильда на машиностроительных предприятиях.

**Ключевые слова:** сталь Гадфильда, фрезерование, силы резания, коэффициент трения, метод Тагучи, дисперсионный анализ, регрессионный анализ, защитные покрытия, режимы резания, твердый сплав.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-3-241-251

---

**Адрес для переписки:**

А.С. Пятых  
Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
ул. Лермонтова, 83, г. Иркутск 664074, Россия  
e-mail: pyatykhas@ex.istu.edu

**Address for correspondence:**

A.S. Pyatykh  
Irkutsk National Research Technical University,  
Lermontov st., 83, Irkutsk 664074, Russia  
e-mail: pyatykhas@ex.istu.edu

---

**Для цитирования:**

А.С. Пятых, А.В. Савилов, С.А. Тимофеев, В.М. Свинин,  
И.Г. Майзель  
Влияние защитных покрытий пластин на силы резания при  
фрезеровании стали Гадфильда.  
Трение и износ.  
2023. – Т. 44, № 3. – С. 241–251.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-3-241-251

**For citation:**

A.S. Pyatykh, A.V. Savilov, S.A. Timofeev, V.M. Svinin, and  
I.G. Maizel  
[The Impact of Inserts Coatings Types on Cutting Forces when  
Hadfield Steels Milling].  
*Trenie i Iznos*.  
2023, vol. 44, no. 3, pp. 241–251 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-3-241-251

# The Impact of Inserts Coatings Types on Cutting Forces when Hadfield Steels Milling

A.S. Pyatykh, A.V. Savilov, S.A. Timofeev, V.M. Svinin, and I.G. Maizel

Irkutsk National Research Technical University,  
Lermontov st., 83, Irkutsk 664074, Russia

Received 30.03.2023.

Revised 26.05.2023.

Accepted 20.06.2023.

## Abstract

The present study analyzed the effect of protective coatings of replaceable hard-alloy plates on cutting forces when milling austenitic high-manganese Hadfield (110G13L) steel. S30T, 1130 and S40T, 4240 hard alloys with PVD and CVD coatings were explored. The analysis was conducted on a milling machining center with a dynamometer plate installed on the table. The experiment was based on the orthogonal planning matrix. The Taguchi method was employed to identify a coating with the best properties. The analysis of variance showed that the tool feed has the greatest effect on active cutting forces. The specific feed gravity was 65.22 %. The regression analysis revealed that to minimize and predict cutting forces for the whole range of cutting conditions S30T alloy with a protective TiAlN PVD coating is preferable in machining austenitic stainless steel 110G13L. The results can improve the machining efficiency for Hadfield steel products produced by machine-building enterprises.

**Keywords:** Hadfield steel, milling, cutting forces, coefficient of friction, Taguchi method, analysis of variance, regression analysis, protective coatings, cutting modes, hard alloy.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-3-241-251

---

### Адрес для переписки:

А.С. Пятых  
Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
ул. Лермонтова, 83, г. Иркутск 664074, Россия  
e-mail: pyatykhas@ex.istu.edu

### Address for correspondence:

A.S. Pyatykh  
Irkutsk National Research Technical University,  
Lermontov st., 83, Irkutsk 664074, Russia  
e-mail: pyatykhas@ex.istu.edu

---

### Для цитирования:

А.С. Пятых, А.В. Савилов, С.А. Тимофеев, В.М. Свинин, И.Г. Майзель  
Влияние защитных покрытий пластин на силы резания при фрезеровании стали Гадфильда.  
Трение и износ.  
2023. – Т. 44, № 3. – С. 241–251.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-3-241-251

### For citation:

A.S. Pyatykh, A.V. Savilov, S.A. Timofeev, V.M. Svinin, and I.G. Maizel  
[The Impact of Inserts Coatings Types on Cutting Forces when Hadfield Steels Milling].  
*Trenie i Iznos*.  
2023, vol. 44, no. 3, pp. 241–251 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-3-241-251

## Список использованных источников

1. **Литвинова Е.И.** Механизмы деформации высокопрочных монокристаллов аустенитных нержавеющей сталей и стали Гадфильда: специальность 01.04.07 «Физика конденсированного состояния»: дис. ... канд. физ.-мат. наук. — Томск. — 2000
2. **Синицкий Е.В., Нефедьев А.А., Ахметова А.А., Овчинникова М.В., Хренов И.Б., Дeryabin Д.А.** Обзор результатов исследований, направленных на улучшение свойств отливок из высокомарганцевой стали // Теория и технология металлургического производства. — 2016, № 2(19), 45—57
3. **Ходжибергенова Д.Т., Шеров К.Т., Касенов А.Ж., Ходжибергенова У.Д.** Проблемы выбора технологий обработки новонедренных материалов в производстве // Наука и техника Казахстана. — 2018, № 2, 111—117
4. **Адмакин М.А., Семенюк Н.А., Пичужников А.В.** Исследование обрабатываемости резанием стали Гадфильда // Материалы II международной научно-практической конференции «Научный потенциал молодежи и технический прогресс», Санкт-Петербург, 17 мая 2019 года. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский филиал Научно-исследовательского центра «Машиностроение». — 2019, 34—37
5. **Губанов А.Е.** Исследование сил резания при фрезеровании труднообрабатываемых материалов // Материалы X Международного молодежного форума с международным участием «Образование. Наука. Производство», Белгород, 01—15 октября 2018 года. — Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. — 2018
6. **Wojciechowski S., Twardowski P., and Wieczorowski M.** Surface Texture Analysis after Ball End Milling with Various Surface Inclination of Hardened Steel // Metrology and Measurement Systems. — 2014 (21), no. 1, 145—156. <https://doi.org/10.2478/MMS-2014-0014>
7. **Wojciechowski S.W., Maruda R.M., Krolczyk G., and Nieslony P.** Application of Signal to Noise Ratio and Grey Relational Analysis to Minimize Forces and Vibrations During Precise Ball End Milling // Precision Engineering. — 2018, no. 51, 582—596. <https://doi.org/10.1016/J.PRECISIONENG.2017.10.014>
8. **Philip S.D., Chandramohan P., and Rajesh P.K.** Prediction of Surface Roughness in End Milling Operation of Duplex Stainless Steel Using Response Surface Methodology // Journal of Engineering Science and Technology. — 2015 (10), no. 3, 340—352
9. **San-Juan M., Martín de Tiedra M.D.P., Santos F.J., López R., and Cebrián J.A.** Study of Cutting Forces and Temperatures in Milling of AISI 316L // Procedia Engineering. — 2015, no. 132, 500—506.

- <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2015.12.525>
10. **Tressia G., Penagos J.J., and Sinatora A.** Effect of Abrasive Particle Size on Slurry Abrasion Resistance of Austenitic and Martensitic Steels // Wear. — 2017 (376—377), 63—69. <https://doi.org/10.1016/J.WEAR.2017.01.073>
11. **Lomaeva T.V. and Kugultinov S.D.** Investigation of Cutting Modes Effect on Cutting Force While Machining Titanium Alloy BT6 (Russian State Standard GOST 19807-91) // Materials Today: Proceedings. — 2021, no. 38, 1307—1309. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2020.08.088>
12. **Altintas Y.** Manufacturing Automation // In Journal of the Japan Society of Precision Engineering. — 2012 (380). <https://doi.org/10.2493/jjspe1933.48.945>
13. **Tounsi N. and Otho A.** Dynamic Cutting Force Measuring // International Journal of Machine Tools and Manufacture. — 2000 (40), no. 8, 1157—1170. [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(99\)00117-0](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(99)00117-0)
14. **Kivak T.** Optimization of Surface Roughness and Flank Wear Using the Taguchi Method in Milling of Hadfield Steel with PVD and CVD Coated Inserts // Measurement: Journal of the International Measurement Confederation. — 2014, no. 50(1), 19—28. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2013.12.017>
15. **Zhang J.Z., Chen J.C., and Kirby E.D.** Surface Roughness Optimization in an End-Milling Operation Using the Taguchi Design Method // Journal of Materials Processing Technology. — 2007 (184), nos. 1—3, 233—239. <https://doi.org/10.1016/J.JMATPROTEC.2006.11.029>

## References

1. **Litvinova E.I.** Mekhanizmy deformatsii vysokoprochnykh monokristallov austenitnykh nerzhavayushchikh staley i stali Gadfil'da: spetsial'nost' 01.04.07 "Fizika kondensirovannogo sostoyaniya": dis. ... kand. fiziko-matematicheskikh nauk / Litvinova Elena Ivanovna. — Tomsk. — 2000 (in Russian)
2. **Sinitskii E.V., Nefed'ev A.A., Akhmetova A.A., Ovchinnikova M.V., Khrenov I.B., Deryabin D.A.** Obzor rezul'tatov issledovaniy, napravlennykh na uluchshenie svoystv otlivok iz vysokomargantsevoi stali.// Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva. — 2016, № 2(19), 45—57 (in Russian)
3. **Khodzhbergenova D.T., Sherov K.T., Kasenov A.Zh., Khozhbergenova U.D.** Problemy vybora tekhnologii obrabotki novonedrennykh materialov v proizvodstve // Nauka i tekhnika Kazakhstana. — 2018, № 2, 111—117 (in Russian)
4. **Admakin M.A., Semenyuk N.A., Pichuzhnikov A.V.** Issledovanie obrabatyvaemosti rezaniem stali Gadfil'da // Materialy II mezhdunarodnoi

- nauchno-prakticheskoi konferentsii “Nauchnyi potentsial molodezhi i tekhnicheskii progress”, Sankt-Peterburg, 17 maya 2019 goda. — Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskii filial Nauchno-issledovatel'skogo tsentra «MashinoStroenie». — 2019, 34—37 (in Russian)
5. **Gubanov A.E.** Issledovanie sil rezaniya pri frezerovanii trudnoobrabatyvaemykh materialov // Materialy X Mezhdunarodnogo molodezhnogo foruma s mezhdunarodnym uchastiem “Obrazovanie. Nauka. Proizvodstvo”, Belgorod, 01–15 oktyabrya 2018 goda. — Belgorod: Belgorodskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii universitet im. V.G. Shukhova. — 2018 (in Russian)
  6. **Wojciechowski S., Twardowski P., and Wieczorowski M.** Surface Texture Analysis after Ball End Milling with Various Surface Inclination of Hardened Steel // Metrology and Measurement Systems. — 2014 (21), no. 1, 145—156. <https://doi.org/10.2478/MMS-2014-0014>
  7. **Wojciechowski S.W., Maruda R.M., Krolczyk G., and Nieslony P.** Application of Signal to Noise Ratio and Grey Relational Analysis to Minimize Forces and Vibrations During Precise Ball End Milling // Precision Engineering. — 2018, no. 51, 582—596. <https://doi.org/10.1016/J.PRECISIONENG.2017.10.014>
  8. **Philip S.D., Chandramohan P., and Rajesh P.K.** Prediction of Surface Roughness in End Milling Operation of Duplex Stainless Steel Using Response Surface Methodology // Journal of Engineering Science and Technology. — 2015 (10), no. 3, 340—352
  9. **San-Juan M., Martín de Tiedra M.D.P., Santos F.J., López R., and Cebrián J.A.** Study of Cutting Forces and Temperatures in Milling of AISI 316L // Procedia Engineering. — 2015, no. 132, 500—506. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2015.12.525>
  10. **Tressia G., Penagos J.J., and Sinatora A.** Effect of Abrasive Particle Size on Slurry Abrasion Resistance of Austenitic and Martensitic Steels // Wear. — 2017 (376–377), 63—69. <https://doi.org/10.1016/J.WEAR.2017.01.073>
  11. **Lomaeva T.V. and Kugultinov S.D.** Investigation of Cutting Modes Effect on Cutting Force While Machining Titanium Alloy BT6 (Russian State Standard GOST 19807-91) // Materials Today: Proceedings. — 2021, no. 38, 1307—1309. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2020.08.088>
  12. **Altintas Y.** Manufacturing Automation // In Journal of the Japan Society of Precision Engineering. — 2012 (380). <https://doi.org/10.2493/jjspe1933.48.945>
  13. **Tounsi N. and Otho A.** Dynamic Cutting Force Measuring // International Journal of Machine Tools and Manufacture. — 2000 (40), no. 8, 1157—1170. [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(99\)00117-0](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(99)00117-0)
  14. **Kivak T.** Optimization of Surface Roughness and Flank Wear Using the Taguchi Method in Milling of Hadfield Steel with PVD and CVD Coated Inserts // Measurement: Journal of the International Measurement Confederation. — 2014, no. 50(1), 19—28. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2013.12.017>
  15. **Zhang J.Z., Chen J.C., and Kirby E.D.** Surface Roughness Optimization in an End-Milling Operation Using the Taguchi Design Method // Journal of Materials Processing Technology. — 2007 (184), nos. 1–3, 233—239. <https://doi.org/10.1016/J.JMATPROTEC.2006.11.029>

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)