

Условия протекания реакции между указанными компонентами представлены минимальной температурой (2500 К) и наименьшей внутренней энергией (69693 кДж/кг).

Список литературы

1. Тен Э.Б. Основы фильтрационного рафинирования жидких металлов. Часть I // Литейное производство. 2013. № 1. С. 15-19.
2. Тен Э.Б. Оценка фильтрационного рафинирования жидких металлов. Часть II // Metallurgia машиностроения. 2013. № 1. С. 45-50.
3. Черных А.Е., Зельберг Б.И. Производство кремния. Иркутск: Изд. «МАНЭБ», 2004. 255 с.
4. Собачкин А.В., Яковлев В.И., Ситников А.А. Применение методов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и механоактивационной обработки для создания новых наплавочных материалов // Заготовительные производства в машиностроении 2012. № 9. С. 17–22.
5. Питюлин А. Н. Силовое компактирование в СВС-процессах // Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: теория и практика. Черноголовка : Изд-во «Территория», 2001. С. 333–353.
6. Loginova M.V., Yakovlev V.I., Sitnikov A.A., Sobachkin A.V., Ivanov S.G., Negodyaev A.Z., Grado-boev A.V. The evolution of structural and phase states of titanium aluminides after γ irradiation in small doses // The Physics of Metals and Metallography. 2017. Т. 118. № 2. P. 170–175.
7. Ситников А.А., Собачкин А.В., Яковлев В.И., Логинова М.В., Свиридов А.П. Особенности структурного состояния механокомпозитов на основе алюминия для газодетонационного напыления покрытий // Научные технологии в машиностроении. 2017. № 12 (78). С. 20-25.
8. Итин В.И., Монасевич Т.В., Братчиков А.Д. Влияние механоактивации на закономерности самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в системе титан-никель // Физика горения и взрыва. 1997. Т. 30. № 5. С. 48–51.
9. Григорьева Т.Ф., Корчагин М.А., Барина А.П., Ляхов Н.З. Влияние механохимической активации на концентрационные границы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза // Доклады РАН. 1999. Т. 369. № 3. С. 345–347.
10. Bernard F., Gaffet E. Mechanical alloying in SHS research // International Journal of SHS. 2001. № 2. P. 109–131.
11. Евстигнеев В. В., Вольпе Б. М., Милукова И. В., Сайгутин Г. В. Интегральные технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. М. : Высшая школа, 1996. 284 с.
12. Fu Z.Y., Wang H., Wang W.M., Yuan R.Z. Composites fabricated by self-propagating high-temperature synthesis // J. Mater. Proc. Tech. 2003. V. 137. P. 30–34.
13. Gotman I., Koczak M.J., Shtessel E. Fabrication of Al matrix in situ composites via self-propagating synthesis // J. Mater. Sci. Eng. A. 1994. Vol. 187. P. 189–199.
14. Логинова М.В., Яковлев В.И., Филимонов В.Ю., Ситников А.А., Собачкин А.В., Иванов С.Г., Градобоев А.В. Морфология и структурные характеристики порошковых механокомпозитов Ti+Al после облучения // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2017. Т. 14. № 4. С. 464–469.
15. Логинов А.Ю., Иванов А.А., Костяков В.В., Литуненко Б.Т., Пушкин В.Т. Керамический мембранный фильтр асимметричной структуры, способ и материал для его изготовления // патент на изобретение RUS 2190461 06.12.2001.

**ДИНАМИКА ФРИКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ТРЕНИИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ
СТАЛИ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА 12X18N10T С
УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРОЙ**

А.В. Филиппов, к.т.н, ст.преп.¹, н.с.², Н.Н. Шамарин, асс.¹, О.А. Подгорных, зав. лаб.¹

¹*Юргинский технологический институт (филиал)Томского политехнического университета,*

652055, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)-7-77-61

²*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,*

634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4, тел. (3822)-49-18-81

E-mail: avf@ispms.ru

В работе рассматривается экспериментальное исследование динамики фрикционных процессов при трении объемных ультрамелкозернистых материалов. В качестве модельных образцов использовалась нержавеющая сталь аустенитного класса 12X18N10T с ультрамелкозернистой структурой, сформированной методами АВС прессования и прокатки. В процессе сухого трения скольжения осуществлялась регистрация сигналов виброускорений и акустической эмиссии.

Нержавеющие стали аустенитного класса широко применяются в различных отраслях промышленности за счет их высокой коррозионной стойкости, механической прочности и пластичности. Сталь 12X18H10T широко применяется в химической промышленности при изготовлении центрифуг, смесителей, фармацевтических и биореакторов, а также в качестве запорной арматуры, клапанов и т.д., которые находятся в непосредственном контакте с агрессивными средами в том числе при повышенных температурах [1–11].

Исследование динамики фрикционных процессов является одним из наиболее актуальных направлений в современной трибологии [12–18]. Исследование динамики трения является одним из ключевых аспектов формирования современной модели динамики процессов формообразования при резании [19–24].

Целью данной работы является исследование динамического поведения аустенитной нержавеющей стали 12X18H10T в исходном состоянии и с ультрамелкозернистой структурой в условиях сухого трения скольжения.

Для проведения исследований использовалась экспериментальная установка, представленная на рисунке 1. Трение скольжения осуществлялось по схеме палец-диск на трибометре Tribotechnic. Изменение динамики фрикционных процессов оценивалось с применением лазерного Доплеровского виброметра PSV-500-3D-HV и комплекса АЭ диагностики ЭЯ-2. Испытания проводились на образцах с крупнокристаллической и ультрамелкозернистой структурой. УМЗ образцы получены методом АВС прессования и прокатки.

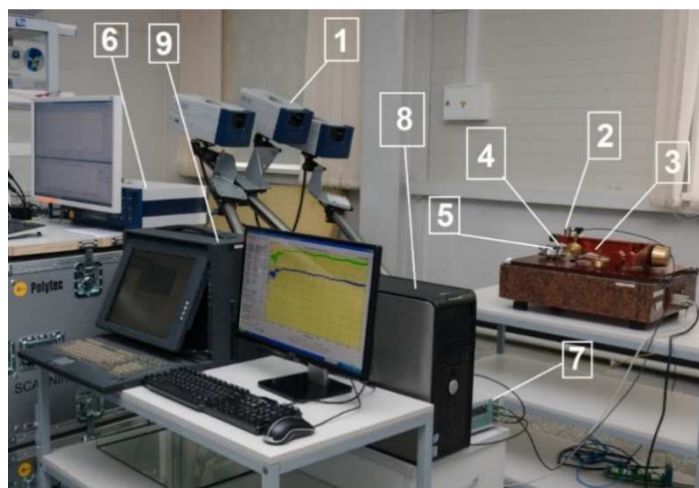


Рис. 1. Экспериментальная установка: 1 – лазерный доплеровский виброметр, 2 – датчик АЭ, 3 – трибометр, 4 – образец, 5 – контртело, 6 – система обработки данных виброметра, 7 – усилитель АЭ, 8 – система обработки данных трибометра, 9 – система обработки данных АЭ.

С начала процесса трения происходит монотонное увеличение коэффициента трения достигая максимального значения в первые 1000-2000 секунд трения (рисунок 2а). Затем происходит немонотонное изменение величины коэффициента трения, связанное с адгезионным взаимодействием между контртелом и исследуемым образцом. Для исходного образца среднее значение коэффициента трения составляет 0,39, а максимальное 0,44. Для образца после прессования среднее значение КТ 0,35, максимальное – 0,39. Для образца после прессования и первого режима прокатки среднее значение КТ 0,43, максимальное 0,53. Для образца после прессования и второго режима прокатки среднее значение КТ 0,38, максимальное 0,43. Динамика изменения амплитуды виброускорений (рисунок 2б) повторяет динамику изменения коэффициента трения. Для исходного образца среднее значение амплитуды виброускорений составляет $7,37 \text{ м/с}^2$, а максимальное $11,14 \text{ м/с}^2$. Для образца после прессования среднее значение амплитуды виброускорений $6,01 \text{ м/с}^2$, максимальное – $9,32 \text{ м/с}^2$. Для образца после прессования и первого режима прокатки среднее значение амплитуды виброускорений $5,78 \text{ м/с}^2$, максимальное – $8,83 \text{ м/с}^2$. Для образца после прессования и второго режима прокатки среднее значение амплитуды виброускорений $7,3 \text{ м/с}^2$, максимальное $10,47 \text{ м/с}^2$. Отклик акустической эмиссии (рисунок 2в) на изменение динамики трения указывает на обратную зависимость амплитуды

АЭ от амплитуды вибраций и коэффициента трения. Для исходного образца среднее значение огибающей амплитуды АЭ составляет 0,33, а максимальное 1,07. Для образца после прессования среднее значение огибающей амплитуды АЭ 0,3, максимальное – 0,76. Для образца после прессования и первого режима прокатки среднее значение огибающей амплитуды АЭ 0,16, максимальное – 0,89. Для образца после прессования и второго режима прокатки среднее значение огибающей амплитуды АЭ 0,31, максимальное – 1,035.

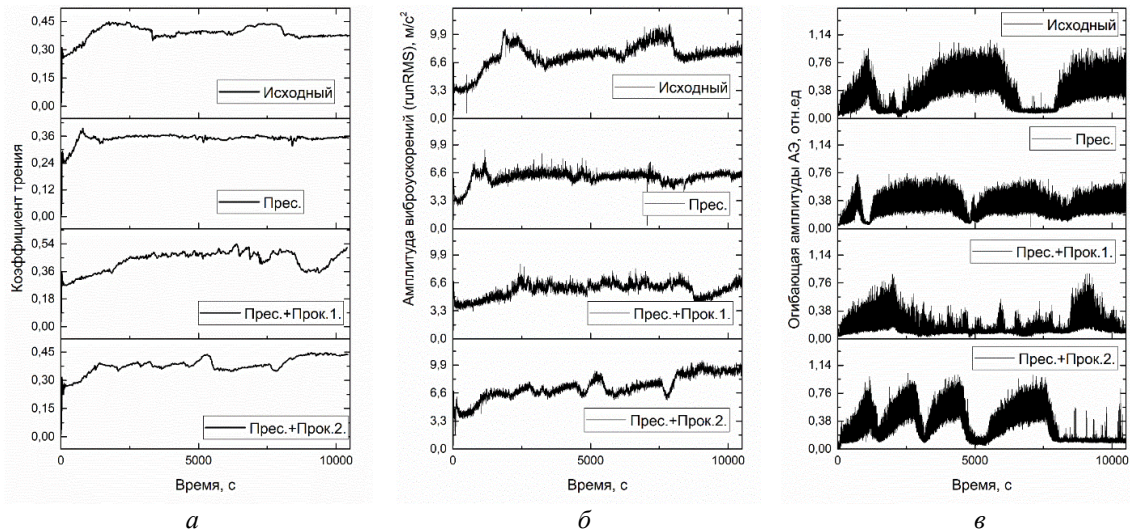


Рис. 2. Динамика изменения коэффициента трения (а), амплитуды виброускорений (б) и огибающей амплитуды акустической эмиссии (в) в процессе сухого трения скольжения

В результате выполненных экспериментальных исследований установлено, что при сухом трении скольжения материала с ультрамелкозернистой структурой происходит уменьшение динамики фрикционных колебаний, что подтверждается данными виброметрии. Обратная зависимости сигналов акустической эмиссии от вибрации трибологической системы согласуется с ранее выполненными работами авторов. При этом уровень вибраций в трибологической системе при трении образцов с УМЗ структурой ниже, чем при трении образца с исходной структурой.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00058.

Список литературы

1. M. Golzar Shahri, M. Salehi, S.R. Hosseini, M. Naderi, Effect of nanostructured grains on martensite formation during plasma nitriding of AISI 321 austenitic stainless steel, *Surf. Coatings Technol.* 310 (2017) 231–238. doi:10.1016/j.surfcoat.2016.12.019.
2. S. Pour-Ali, A.R. Kiani-Rashid, A. Babakhani, S. Virtanen, M. Allieta, Correlation between the surface coverage of severe shot peening and surface microstructural evolutions in AISI 321: A TEM, FE-SEM and GI-XRD study, *Surf. Coatings Technol.* 334 (2018) 461–470. doi:10.1016/j.surfcoat.2017.11.062.
3. A.M.A. El-Rahman, An investigation on the microstructure, tribological and corrosion performance of AISI 321 stainless steel carbonitrided by RF plasma process, *Surf. Coatings Technol.* 205 (2010) 674–681. doi:10.1016/j.surfcoat.2010.08.036.
4. K. Mankari, S.G. Acharyya, Failure analysis of AISI 321 stainless steel welded pipes in solar thermal power plants, *Eng. Fail. Anal.* 86 (2018) 33–43. doi:10.1016/j.engfailanal.2017.12.020.
5. K. Mankari, S.G. Acharyya, Development of stress corrosion cracking resistant welds of 321 stainless steel by simple surface engineering, *Appl. Surf. Sci.* 426 (2017) 944–950. doi:10.1016/j.a psusc.2017.07.223.
6. J.S. Corte, J.M.A. Rebello, M.C.L. Areiza, S.S.M. Tavares, M.D. Araujo, Failure analysis of AISI 321 tubes of heat exchanger, *Eng. Fail. Anal.* 56 (2015) 170–176. doi:10.1016/j.engfailanal.2015.03.008.
7. S. Pour-Ali, A.R. Kiani-Rashid, A. Babakhani, S. Virtanen, Thermal stability of nanocrystalline surface layer of AISI 321 stainless steel, *Vacuum.* 146 (2017) 297–303. doi:10.1016/j.vacuum.2017.09.053.

8. M.B. Leban, R. Tisu, The effect of TiN inclusions and deformation-induced martensite on the corrosion properties of AISI 321 stainless steel, *Eng. Fail. Anal.* 33 (2013) 430–438. doi:10.1016/j.jengfailan.al.2013.06.021.
9. A. Pardo, M.C. Merino, A.E. Coy, F. Viejo, M. Carboneras, R. Arrabal, Influence of Ti, C and N concentration on the intergranular corrosion behaviour of AISI 316Ti and 321 stainless steels, *Acta Mater.* 55 (2007) 2239–2251. doi:10.1016/j.actamat.2006.11.021.
10. R.K.C. Nkhoma, C.W. Siyasiya, W.E. Stumpf, Hot workability of AISI 321 and AISI 304 austenitic stainless steels, *J. Alloys Compd.* 595 (2014) 103–112. doi:10.1016/j.jallcom.2014.01.157.
11. K.S. Min, S.W. Nam, Correlation between characteristics of grain boundary carbides and creep-fatigue properties in AISI 321 stainless steel, *J. Nucl. Mater.* 322 (2003) 91–97. doi:10.1016/S0022-3115(03)00274-5.
12. A.V. Filippov, S.Y. Tarasov, S.V. Fortuna, O.A. Podgornykh, N.N. Shamarin, V.E. Rubtsov, Microstructural, mechanical and acoustic emission-assisted wear characterization of equal channel angular pressed (ECAP) low stacking fault energy brass, *Tribol. Int.* 123 (2018) 273–285. doi:10.1016/j.triboint.2018.03.023.
13. D.V. Lychagin, A.V. Filippov, E.A. Kolubaev, O.S. Novitskaia, Y.I. Chumlyakov, A.V. Kolubaev, Dry sliding of Hadfield steel single crystal oriented to deformation by slip and twinning: Deformation, wear, and acoustic emission characterization, *Tribol. Int.* 119 (2018) 1–18. doi:10.1016/j.triboint.2017.10.027.
14. A.V. Filippov, V.E. Rubtsov, S.Y. Tarasov, O.A. Podgornykh, N.N. Shamarin, Detecting transition to chatter mode in peakless tool turning by monitoring vibration and acoustic emission signals, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 95 (2018) 157–169. doi:10.1007/s00170-017-1188-y.
15. S.Y. Tarasov, A.V. Filippov, E.A. Kolubaev, T.A. Kalashnikova, Adhesion transfer in sliding a steel ball against an aluminum alloy, *Tribol. Int.* 115 (2017) 191–198. doi:10.1016/j.triboint.2017.05.039.
16. A.V. Filippov, A.Y. Nikonov, V.E. Rubtsov, A.I. Dmitriev, S.Y. Tarasov, Vibration and acoustic emission monitoring the stability of peakless tool turning: Experiment and modeling, *J. Mater. Process. Technol.* 246 (2017) 224–234. doi:10.1016/j.jmatprotec.2017.03.030.
17. D.V. Lychagin, A.V. Filippov, O.S. Novitskaia, Y.I. Chumlyakov, E.A. Kolubaev, O.V. Sizova, Friction-induced slip band relief of Hadfield steel single crystal oriented for multiple slip deformation, *Wear.* 374–375 (2017) 5–14. doi:10.1016/j.wear.2016.12.028.
18. A.V. Filippov, V.E. Rubtsov, S.Y. Tarasov, Acoustic emission study of surface deterioration in tribocontacting, *Appl. Acoust.* 117 (2017) 106–112. doi:10.1016/j.apacoust.2016.11.007.
19. S. Atlati, A. Moufki, M. Nouari, B. Haddag, Interaction between the local tribological conditions at the tool-chip interface and the thermomechanical process in the primary shear zone when dry machining the aluminum alloy AA2024-T351, *Tribol. Int.* 105 (2017) 326–333. doi:10.1016/j.triboint.2016.10.006.
20. S. Bahi, G. List, G. Sutter, Modeling of friction along the tool-chip interface in Ti6Al4V alloy cutting, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 84 (2016) 1821–1839. doi:10.1007/s00170-015-7752-4.
21. T. Özel, The influence of friction models on finite element simulations of machining, *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 46 (2006) 518–530. doi:10.1016/j.ijmachtools.2005.07.001.
22. T. Özel, T. Altan, Determination of workpiece flow stress and friction at the chip-tool contact for high-speed cutting, *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 40 (2000) 133–152. doi:10.1016/S0890-6955(99)00051-6.
23. S. Bahi, G. List, G. Sutter, Analysis of adhered contacts and boundary conditions of the secondary shear zone, *Wear.* 330–331 (2015) 608–617. doi:10.1016/j.wear.2015.01.016.
24. S. Atlati, B. Haddag, M. Nouari, A. Moufki, Effect of the local friction and contact nature on the Built-Up Edge formation process in machining ductile metals, *Tribol. Int.* 90 (2015) 217–227. doi:10.1016/j.triboint.2015.04.024.

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ГАЗОДЕТОНАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ, НАПЫЛЕННЫХ СВС-МЕХАНОКОМПОЗИТАМИ

*А. В. Собачкин, к.т.н., с.н.с., В. И. Яковлев, к.т.н., доц., А. М. Бацук, магистрант
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова
656038, г. Барнаул, пр. Ленина 46, тел. 8 (3852) 29-08-15
E-mail: anicpt@rambler.ru*

В работе проведено исследование износостойких свойств покрытий поршневых колец, напыленных с помощью газодетонационного метода. В качестве напыляемого порошка использовался СВС-механокомпозит состава TiC–NiCr. Установлено, что износ поршневых колец с разработанным покрытием на 27 % ниже, чем у аналогичных колец с гальваническим хромированием.

This paper focuses on the wear-resistant properties of coatings of piston rings sputtered with a gas detonation method. As a spraying powder a SHS-mechanical composite of the composition TiC–NiCr was