

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



УДК 620.178.162

Оценка антифрикционных свойств отходов металлургического производства при использовании в качестве твёрдого смазочного материала

Д.И. Гладких, Е.В. Фоминов

Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Аннотация. Рассмотрены параметры смазочно-охлаждающих жидкостей на основе растительных масел на машине трения Т-11. Целью статьи является анализ фрикционных свойств отходов металлургического производства при использовании их в качестве твёрдого смазочного материала. Для этого проведены сравнительные опыты с использованием графена в качестве твёрдого смазочного материала и без использования смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ). В результате исследования составлена диаграмма коэффициентов эффективности, демонстрирующая полезность работы образцов. В ходе однофазного дисперсионного анализа был сделан вывод, что отходы металлургического производства в качестве твердого смазочного материала имеют перспективы для дальнейших исследований.

Ключевые слова: трение, твёрдые смазочные материалы, антифрикционные свойства

Evaluation of antifriction properties of metallurgical waste when used as a solid lubricant

Dmitrii I. Gladkikh, Evgenii V. Fominov

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Abstract. The paper considers the parameters of lubricants based on vegetable oils on the friction machine T-11. The article objective is to investigate the friction properties of metallurgical waste when used as a solid lubricant. For this purpose, comparative experiments were carried out using graphene as a solid lubricant and without the use of coolant. The result of the work was a diagram of efficiency coefficients, with the help of which the usefulness of the samples was shown. At the end of the single-phase dispersion analysis, it was concluded that the waste of metallurgical production as a solid lubricant had prospects for further research.

Keywords: friction, solid lubricants, antifriction properties

Введение. В процессе механической обработки металлов образуются отходы. Пылевая аморфная смесь оседает на стенках и фильтрах воздухоотведения и подачи. Такие отходы представляют собой в основном аморфный углерод, окись цинка, титанат кальция, кварц, сульфат кальция и другие примеси. Анализ фрикционных свойств отходов был проведен в связи с необходимостью решения проблемы утилизации и переработки отходов металлургического производства как альтернативных источников сырья для предприятий. Перед авторами стояла задача определить и оценить трибологические свойства смазочных и технических материалов, используемых для соединений скольжения, работающих при повышенных температурах

Основная часть. Для изучения фрикционных свойств образец был помещён в машину для испытаний при повышенных температурах Т-11. Данная установка производит вращение диска образца одного из трибопары, в свою очередь, индентор давит на диск с некоторой заданной силой. Машина трения позволяет определить износостойкость и коэффициент трения [1]. Данные измеренные значения с помощью датчиков отображаются на экране монитора и сохраняются на диске компьютера. Двигатель триботестера автоматически останавливается по истечении заданного времени или при достижении заданного расстояния скольжения (количество оборотов диска).

Настройки оборудования приведены в таблице 1.

Таблица 1

Настройки оборудования

№	Название	Обозначение	СИ	Значение
1	Сила нормальной реакции	N	Н	20
2	Частота дискретизации	f	Гц	1
3	Скорость вращения	V	об/мин	424
4	Длина пути	L	м	480
5	Время	t	с	1200
6	Шероховатость	Ra	мкм	0,46

В данном исследовании в качестве твёрдых смазочных материалов использовались отходы металлургического производства, а также для сравнения опыты проводились без использования СОЖ и твёрдых смазочных материалов, в качестве твердого смазочного материала (ТСМ) применялся графен [2, 3]. Графен в качестве смазки на данный момент изучается и является перспективным и экологически безопасным видом сырья [4].

В качестве трибопары были выбраны стали марки 30ХГСА и Р6М5. Их химический состав представлен в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Химический состав стали 30ХГСА, в %

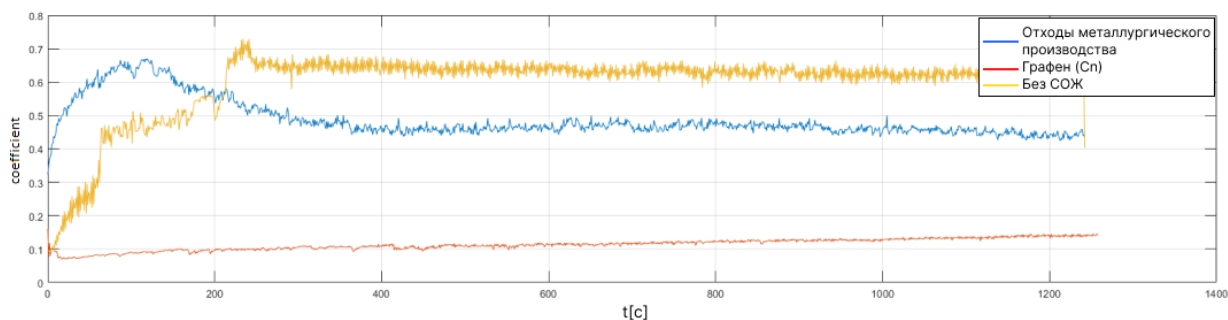
C	0,28–0,34
Si	0,9–1,2
Mn	0,8–1,1
Ni	до 0,3
S	до 0,025
P	до 0,025
Cr	0,8–1,1
Cu	до 0,3
Fe	~96

Таблица 3

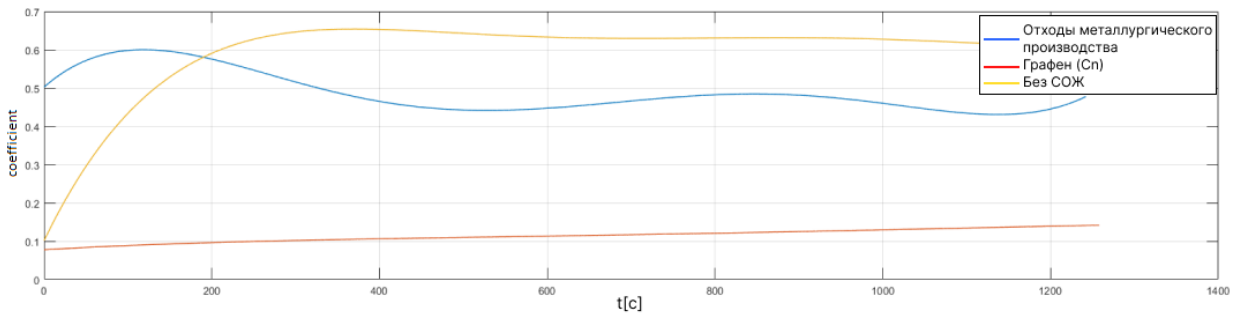
Химический состав стали Р6М5, в %

C	0,82–0,9
Si	до 0,5
Mn	до 0,5
Ni	до 0,4
S	до 0,025
P	до 0,03
Cr	3,8–4,4
Mo	4,8–5,3
W	5,5–6,5
V	1,7–2,1
Co	до 0,5
Fe	~80

В результате исследования были получены выходные данные, которые представлены в виде графиков (рис. 1, 2).

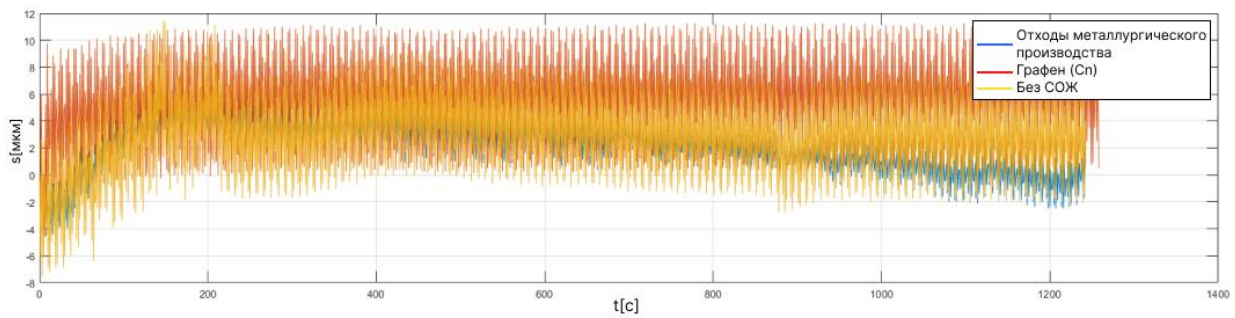


a)

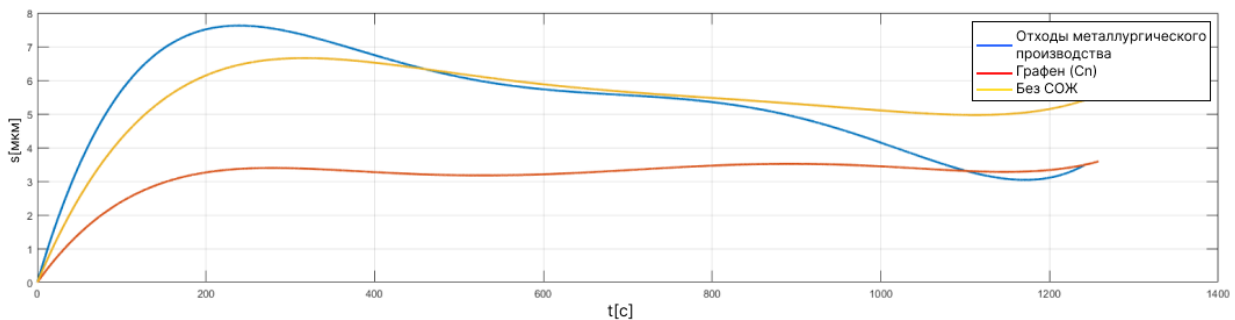


б)

Рис. 1. Сравнительные графики: а — изменение значения перемещения;
б — данные, полученные методом наименьших квадратов (МНК)



а)



б)

Рис. 2. Сравнительные графики: а — изменение значения силы трения;
б — данные, полученные методом наименьших квадратов (МНК)

Анализ данных на рис. 1, 2 показывает, что наилучшие показатели по износостойкости и шероховатости демонстрирует графен в качестве твёрдого смазочного материала, хотя мы видим, что значения отходов металлургического производства выше, но они улучшают трибологические характеристики.

Проведём сравнительный анализ с использованием значений шероховатости, полученных с дисков трибопары. Для оценки значимости и влияния качественного фактора используем однофазный дисперсионный анализ. Данный метод позволяет определить значимость измененных критериев в средних значениях, в нашем случае это изменение вида смазочного материала. Значения, применявшиеся в ходе анализа, были получены с помощью профилометра sj-210.

Результаты анализа шероховатости (Ra) контртел представлены на рис. 3, 4.

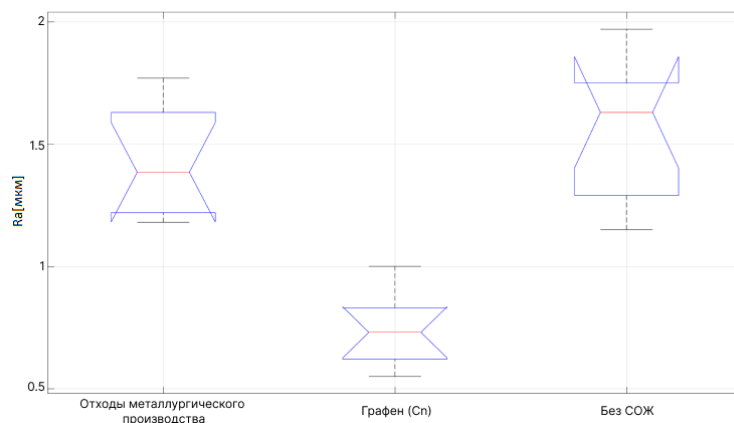


Рис. 3. Диаграмма однофакторного дисперсионного анализа

ANOVA Table					
Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Columns	3.89449	2	1.94724	41.99	5.15582e-09
Error	1.25201	27	0.04637		
Total	5.1465	29			

Рис. 4. Результаты дисперсионного анализа

Рассчитаем критическое значение:

$$F_{crit} = qF(1 - \alpha, df_A, df_E) = 3.354,$$

где F_{crit} — обратное кумулятивное распределение Фишера со степенями свободы df_A и df_E .

Значение F для фактора А больше критического значения F, это подтверждает, что отходы металлургического производства в качестве твёрдого смазочного материала влияют на шероховатость в процессе трения (рис. 4). Судя по данным на рис. 3, влияют положительно, но их влияние не так сильно, как при использовании графена.

Заключение. Выполнив эксперименты на машине трения, авторы получили данные об антифрикционных свойствах отходов металлургического производства, сравнили показатели перемещения и коэффициента трения с показателями других объектов исследования. Исходя из вышеприведенных графиков и значений, построенных методом наименьших квадратов, можно сказать, что данные виды твердого смазочного материала имеют перспективы для дальнейших исследований.

Список литературы

1. Крагельский И.В. *Трение и износ*. Москва: Машиностроение; 1966. 466 с.
2. Боуден Ф.П., Тейбор Д. *Трение и смазка твердых тел*. И.В. Крагельский (ред.). Москва: Машиностроение; 1968. 543 с.
3. Пасько А.А., Попов С.В., Пятигорский А.И. и др. *Перспективы использования графена для улучшения трибологических характеристик пластичных смазок*. В: Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей II Международной научно-практической конференции. В 4 ч. Пенза; 2018. С. 35–38.
4. Berman D, Deshmukh SA. Extraordinary macroscale wear resistance of one atom thick graphene layer. *Advanced Functional Materials*. 2014;24:6640–6646. <https://doi.org/10.1002/adfm.201401755>

Об авторах:

Гладких Дмитрий Игоревич, научный сотрудник Донского государственного технического университета (344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ORCID](#), ya.gladckih-dmitriy@yandex.ru

Фоминов Евгений Валерьевич, и. о. заведующего кафедрой «Инженерная и компьютерная графика» Донского государственного технического университета (344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, [ORCID](#), fominoff83@yandex.ru

About the Authors:

Dmitrii I. Gladkikh, researcher, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), [ORCID](#), ya.gladckih-dmitriy@yandex.ru

Evgenii V. Fominov, acting head of the Engineering and Computer Graphics Department, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), Cand. Sci. (Eng.), associate professor, [ORCID](#), fominoff83@yandex.ru