

12. Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости: ГОСТ 25.504 – 82- [Чинний від 1983-07-01].-Москва: Государственный комитет по стандартам СССР,1982.
13. Бурдуцький О.В Особливості методу визначення динамічного навантаження кузова напіввагона.[Текст]/ Бурдуцький О.В // 36. наукових. праць. – Харків: Східно-Європейський журнал передових технологій , 2012. – Вип.№ 4/7 (58).- С.47-50.
14. Афанасьев Н.Н. Статистическая теория усталостной прочности металлов. [Текст]/ Афанасьев Н.Н./- К.: Изд. АН УССР, 1953, -123 с.
15. Савоськин А.Н Прочность и безотказность подвижного состава железных дорог [Текст]/ Савоськин А.Н., Бурчак Г.П. и др.; под ред. А.Н. Савоськина// - М.: Машиностроение, 1990. - 288с.
16. Павлов В.С. До питання про визначення коефіцієнта запасу в машинобудуванні .[Текст]/ Павлов В.С. // 36. наукових. праць. – Хмельницьк: ХНУ, 2005. – Вип.№.5.- Ч.1,Т.1 С.58-64.

*В роботі розглянутий аналіз характеру руйнування біл диспергаторів та розроблені рекомендації щодо підвищення їх терміну служби шляхом оптимізації технологічних і матеріалознавчих чинників експлуатації*

*Ключові слова: оптимізація, ударно-абразивне зношування, мікрорізання, зносостійкість, деформація*

*В работе рассмотрен анализ характера разрушения бил диспергаторов и разработаны рекомендации относительно повышения их срока службы путем оптимизации технологических и материаловедческих факторов эксплуатации*

*Ключевые слова: оптимизация, ударно-абразивное изнашивание, микрорезание, износостойкость, деформация*

УДК 621.791.92.04

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ КОНТАКТНИХ ПОВЕРХОНЬ В УМОВАХ УДАРНИХ НАВАНТАЖЕНЬ РОБОТИ ДИСПЕРГАТОРІВ

С. М. Попов

Доктор філософських наук, професор  
Кафедра обладнання і технології зварювального виробництва  
Запорізький національний технічний університет  
вул. Жуковського,64, м. Запоріжжя, Україна, 69063  
E-mail: spopov@zntu.edu.ua

### 1. Вступ

Робочі органи машин, що подрібнюють, зокрема біла диспергаторів, працюють у складних умовах інтенсивного ударноабразивного зношування, що призводить до значного їх зносу і передчасного виходу з ладу всієї установки. Актуальність цієї проблеми пов'язана з тим, що значні об'єми шлакових відвалів металургійних виробництв після відповідної обробки обумовлюють можливість повторного їх використання в багатьох галузях промисловості України. Отже, ефективне використання цих вторинних ресурсів, особливо в кризові періоди, є нагальною проблемою як світової, так і української промисловості.

### 2. Аналіз літературних джерел і постановка проблеми

За даними робіт [1-8] вказується, що найбільшу абразивну здатність, як правило, мають тверді абразивні частки, розмір яких знаходиться в діапазоні від

0,5 до 2 мм. Важливе значення має форма абразивних часток, оскільки при достатній твердості і міцності, вони здатні деформувати, різати і зношувати контактні поверхні деталей робочих органів.

Абразивне зношування залежить від числа чинників: структури і природи матеріалу інструмента, абразиву та його твердості, вологості, розмірів і форми абразивних частинок, їх рухливості і швидкості руху, тиску поверхні на абразивну частинку.

Для подрібнення фероматеріалів до дрібнодисперсної фракції (0,3–1,0 мм та 0,05 – 0,3 мм) використовують диспергатори, робочими органи яких є біла, що мають різну форму та геометричні розміри. Аналіз динаміки експлуатації цих деталей свідчить про недостатній термін їх експлуатації (8-16 годин), що обумовлено інтенсивними умовами абразивного руйнування (значні лінійні швидкості відносного переміщення 12-18 м/с, високий тиск 10-20 ГПа, наявність локальних ударних навантажень). Тому, краще необхідним є проведення досліджень щодо визначення особливостей механізму руйнування контактних поверхонь тертя робочих органів диспергаторів, та

створення рекомендацій параметричного опису трибоматеріалознавчих параметрів зносостійких матеріалів для цих умов зношування, а також технології їх нанесення.

### 3. Мета і задачі дослідження

Метою даної роботи було дослідження і аналіз характеру руйнування робочих органів – біл диспергаторів, та розробка рекомендацій щодо підвищення їх терміну служби шляхом оптимізації технологічних чи матеріалознавчих чинників експлуатації і подальшої розробки технології зміцнення.

### 4. Експериментальні дані та їх обробка

Спираючись на запропонований автором [9] багатокритеріальний підхід для дослідження зносостійкості деталей машин, було вдосконалено методику досліджень, що базується на комплексному опрацюванні даних. Цей метод ґрунтується на структурно-логічному синтезі апріорної інформації, аналізу характеристик робочого органу, умов зношування та властивостей зовнішнього середовища, з подальшим урахуванням впливу структурно-фазового стану й фізико-механічних чинників матеріалів у конкретних умовах контактної взаємодії.

Дослідження матеріалів в аналізованих умовах зношування проводили за допомогою спеціально розробленого обладнання (рис. 1), призначеного для переробки шлакових відвалів металургійних підприємств. Конструктивно воно складалося з диспергатора – установки для подрібнення фероматеріалів окремої фракції і повітряних класифікаторів, які є альтернативою віброгрохотам при фракціонуванні дрібних фракцій (менше 5 мм).

Для промислових випробувань стандартних матеріалів, що застосовуються для умов інтенсивного

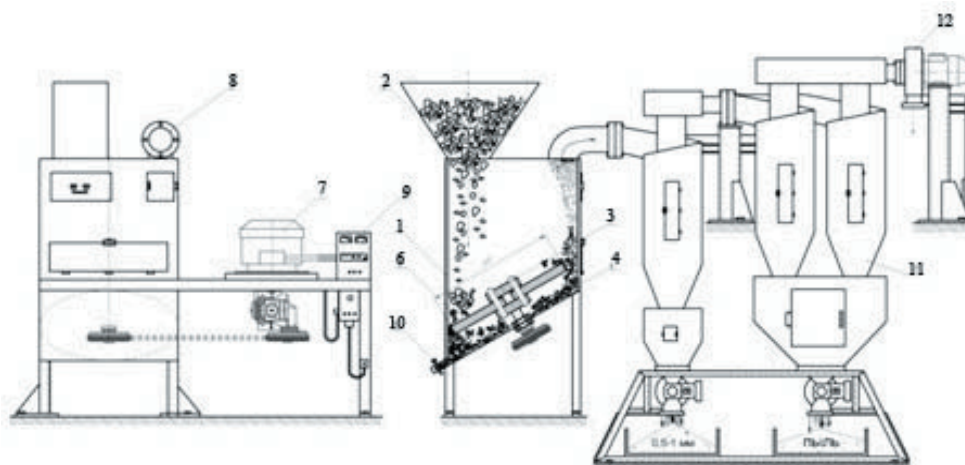


Рис. 1. Конструкція установки диспергатора-подрібнювача: 1 – рамний корпус; 2 – завантажувальний желоб; 3 – патрубок для вивантаження; 4 – ротор; 5 – диск кріплення біл; 6 – біло (робочий орган диспергатора); 7 – електропривод; 8 – клино-ремена передача; 9 – шкаф керування; 10 – механізм вилучення тіл, що не подрібнені; 11 – повітряний класифікатор; 12 – транспортний вентилятор

абразивного і ударно-абразивного зношування напівзакріпленим і закріпленим абразивом, в якості абразивного матеріалу використовували шлаки металургійних підприємств м. Запоріжжя, фракції: 0-10 мм, 10-30 мм, 30-40 мм та 40-60 мм (табл. 1, рис. 2).

Для подрібнення різних фракцій фероматеріалів застосовуються біла, молотки, різної форми, конструкції та геометричних розмірів (рис. 3), які повинні мати значну зносостійкість в умовах ударних навантажень під дією значних відцентрових сил. Робочі органи зазвичай виготовляють зі сталі 110Г1-3Л, що забезпечує не досить високу зносостійкість.

Аналіз трибологічної картини руйнації та характеру спрацювання поверхні тертя показав, що механізм зношування представляє собою складний комплексний процес зношування (рис. 4). Це пов'язано насамперед з тим, що між торцем робочого органу та стінкою диспергатора відбувається защемлення, подрібнення та стирання абразиву (рис. 4а). Так, дослідження контактної поверхні стандартних деталей доводить, що на передній частині біла реєструється наявність слідів в'язко-пластичного деформування (20-30%) у вигляді лунок та крихко-пластичного передеформування мікрооб'ємів при утворенні канавок та навалів (25-40%), а з наявністю треків проходження абразиву – і одноциклового зняття мікроостружку (20-30%).

Таблиця 1

Хімічний склад і властивості шлаків металургійних підприємств м. Запоріжжя

Фракція матеріалу, не магнітна, мм	Хімічний склад, %								Границя міцності			Форма зерен, %		
	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	FeO	на стиск, x10 Н/м <sup>2</sup>	при ударі, МПа	на роздавль., %	кулькова	кубовидна	лещадна
0-10	13,5	4,2	27,0	24,2	0,8	2,1	2,2	25,2	0,9	97,5	15,8	80	15	5
10-30	14,1	4,2	26,9	24,3	0,8	2,2	2,2	22,2	0,8	97,3	15,9	75	17	8
30-40	15,2	4,3	26,9	24,4	0,8	2,2	2,2	18,5	0,8	97,1	16,4	61	27	12
40-60	16,3	4,3	26,8	24,4	0,9	2,2	2,1	16,2	0,7	97	16,6	53	32	15

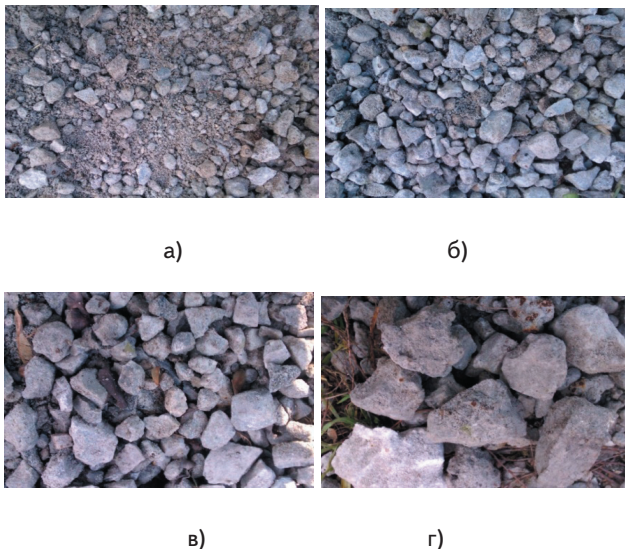


Рис. 2. Зовнішній вигляд шлаків фракцією 0-10 мм (а), 10-30 мм (б), 30-40 мм (в) та 40-60 мм (г)



Рис. 3. Зовнішній вигляд робочих органів відцентрово-ударних установок до (а) та після (б, в) зношування

На нашу думку, у даному випадку спостерігається зношування напівзакріпленим абразивом при ковзній взаємодії (рис. 4б) з кутом атаки 45-80°, з наявністю локальних ударних навантажень. Макроаналіз поверхні тертя на бічних зонах біл дозволив встановити наявність слідів лише ковзаючої взаємодії з приблизним кутом атаки 5-10°.

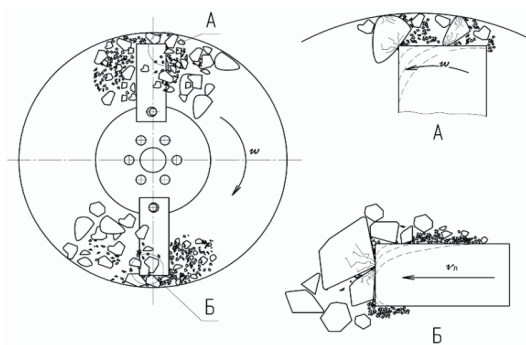


Рис. 4. Схема зношування біл диспергатора: защемлення (а), ударна та ковзна взаємодія (б)

При певній глибині впровадження абразивної частинки відбувається утворення і відділення стружки від поверхні деталі. Однак, це можливо за умови сприятливого розташування абразивної частинки, великої енергії удару частинки об поверхню, при якій вона впроваджується в поверхню інструменту і зрізає стружку. Одним з факторів, відповідних типу руйнування торцевої і частково бічної зони є динамічні

удари абразиву, що викликають інтегровані локальні знакозмінні напруги розтягування і стиснення поверхні, що призводять до руйнування. Для бічної зони найбільш характерно одноциклове і частково багаточислове руйнування, внаслідок більш високої твердості абразиву відносно до твердості металу, що знижує його опір зношуванню.

На бічних гранях біла чітко видно глибокі подряпини, канавки, окремі вм'ятини і вириви зі слідами пластично деформованого металу по краях (рис. 5) [10]. Інтенсивність зносу торцевої грані залежить від розподілу на ній сил тиску фероматеріалів, швидкості переміщення біл і фізико-механічних властивостей абразиву і матеріалу.



Рис. 5. Поверхня тертя біл диспергаторів після зношування: бокова поверхня (а) і торцева поверхня (б)

## 5. Висновки

Таким чином, представлені дослідження дозволили встановити наступне:

1. Актуальною та своєчасною задачею промисловості є переробка шлаків металургійних виробництв для повторного їх використання після відповідного подрібнення та розділення в диспергаторах, дезінтеграторах, спеціальних дробарках та інших установках.

2. Внаслідок інтенсивного абразивного зношування робочі органи цих установок потребують застосування зносостійких матеріалів та технологій зміцнення. Однією з яких є можливість нанесення зносостійких наплавів.

3. Специфіка механізму контактної взаємодії робочого органу диспергатора з абразивним середовищем практично не вивчена, однак дозволяє дійти висновку про наявність процесів зношування напівзакріпленим абразивом з локальними ударними навантаженнями та защемленням часток. Детальне розуміння трибологічних та фізичних процесів в контактній парі «робочий орган – абразивне середовище» вимагає проведення додаткових спрямованих досліджень.

4. Аналіз результатів показав, що для умов інтенсивного абразивного та ударно-абразивного зношування, зокрема експлуатації робочих органів диспергаторів доцільно рекомендувати матеріали з аустенітною чи аустенітно-мартенситною структурою, з наявністю не менше 40-50% зміцнювальної фази за агрегатної твердості 45-60 HRC із мікротвердістю зміцнювальної фази не менше  $H_{\mu} = 18-24$  ГПа, орієнтованою вихідною мікротвердістю основи сплаву  $H_{\mu} = 0,5-0,6$  ГПа та надбаною мікротвердістю в межах 0,8-1,0 ГПа.

Результати цієї роботи будуть використані нами в подальшому для розробки зміцнюючого зносостійкого матеріалу і технології його нанесення.



Література

1. Jankauskas V. Strengthening machine elements working under abrasive environment by alloying with hard layers and their estimation / V. Jankauskas // *Mechanika*, 2006. - №.1(57), P. 55-60.
2. Jankauskas V. Research of strengthening plough parts by welding / V. Jankauskas, R. Kreivaitis, D. Stonkus, A. Andriušis // *Mechanika*, 2008. - №.1(69), P. 80-84.
3. Stachowiak G.W. Engineering tribology (2nd ed.)/ G.W. Stachowiak, A.W. Batchelor, 2000. – 769 p.
4. Graff L. Discrete element method simulation of wear due to soil-tool interaction: a thesis... master science: Agricultural and Bioresource Engineering / Lyndon Graff. - Saskatoon, Canada, 2010. - 120 p.
5. Bhushan B. Modern tribology handbook: Principles of tribology / B. Bhushan // Kato K. Wear Mechanisms / K. Kato, K. Adachi. - CRC Press, Boca Raton, London, New York Washington, D.C., 2001. - 1690 p.
6. Попов С.М. Триботехнічні та матеріалознавчі аспекти руйнування сталей і сплавів при зношуванні: Навчальний посібник / С.М. Попов, Д.А. Антонюк, В.В. Нетребко. – Запоріжжя: ЗНТУ, ВАТ «Мотор Січ», 2010. – 368 с.
7. Попов С.М., Антонюк Д.А., Редька М.О. Аналіз механізму зношування біл диспергаторів // Тези міжнар. наук.-практ. конференції «Ольвійський форум – 2011: стратегії України в геополітичному просторі». – Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2011. – Том 11. – С.3-4.
8. Попов С.М., Антонюк Д.А., Редька М.О. Підвищення зносостійкості робочих органів диспергаторів для подрібнення шлаків металургійного виробництва // Матеріали Міжнар. науково-технічної конференції «Сучасні аспекти металознавства та термічної обробки металів» (м. Маріуполь). – Маріуполь.: ПДТУ, 2010. – С.130–131.
9. Попов С. Н. Решение задач трибоматериаловедения на основе системных многокритериальных методов математического анализа износостойкости сталей и сплавов / С. Н. Попов, Д. А. Антонюк, Т. В. Попова // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2004. - №4. – С. 172–181.
10. Popov S.N. Adequacy analysis of methods of forecasting the abrasive stability steels and alloys / S.N. Popov // Problems of Tribology. – Хмельницький: Хмельницький національний університет Міністерства освіти і науки України: журнал – 2005. – №2 (35). – С.95-101.

*Аналізуються технічні можливості роторної динамічної сирени для створення аеродинамічного шуму звукової частоти на стаціонарному стенді наземних випробувальних комплексів при виконанні напівнатурних випробувань приладів командно-вимірювального забезпечення літальних апаратів різного класу і засобів базування. Розкриваються можливості сирени з трикутною функцією модуляції*

*Ключові слова: роторна динамічна сирена, функція модуляції, аеродинамічний шум, кількість місць, стенд*

*Анализируются технические возможности роторной динамической сирены для создания аэродинамического шума звуковой частоты на стационарном стенде наземных испытательных комплексов при проведении полунатурных испытаний приборов командно-измерительного обеспечения летательных аппаратов различного класса и средств базирования. Раскрываются возможности сирены с треугольной функцией модуляции*

*Ключевые слова: роторная динамическая сирена, функция модуляции, аэродинамический шум, число мест, стенд*

УДК 629.7.054

# РОТОРНАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ СИРЕНА С ТРЕУГОЛЬНОЙ ФУНКЦИЕЙ МОДУЛЯЦИИ

**М. Ф. Калинина**  
Аспирант

Кафедра биотехники и инженерии  
Национальный технический университет  
Украины  
«Киевский политехнический институт»  
пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056  
E-mail: kalinina.miroslava@yandex.ua

## 1. Введение

Исследования относятся к области прикладной механики и посвящены анализу возможностей роторной

динамической сирены для воспроизведения реальных летной эксплуатации в наземных условиях. Полунатурные испытания на стенде позволят не только установить соответствие параметров бортовой аппаратуры