

Сиротин П.В., Гасанов Б.Г., Исмаилов М.А. Оценка возможности повышения ударно-абразивной износостойкости композиционных материалов за счет оптимизации их упруго-диссипативных свойств // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2018. – Т. 20, № 4. – С. 43–50. DOI: 10.15593/2224-9877/2018.4.05

Sirotin P.V., Gasanov B.G., Ismailov M.A. Evaluation of the possibility of improving shock-abrasive performance of composite materials at the account of optimization of their elastic-dissipative properties. *Bulletin PNRPU. Mechanical engineering, materials science*, 2018, vol. 20, no. 4, pp. 43–50. DOI: 10.15593/2224-9877/2018.4.05

ВЕСТНИК ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение
Т. 20, № 4, 2018
Bulletin PNRPU. Mechanical engineering, materials science
<http://vestnik.pstu.ru/mm/about/inf/>

DOI: 10.15593/2224-9877/2018.4.05
УДК 621.762.4

П.В. Сиротин, Б.Г. Гасанов, М.А. Исмаилов

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
им. М.И. Платова, Новочеркасск, Россия

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ УДАРНО-АБРАЗИВНОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ЗА СЧЕТ ОПТИМИЗАЦИИ
ИХ УПРУГО-ДИССИПАТИВНЫХ СВОЙСТВ**

Изучается механизм ударно-абразивного изнашивания как один из малоизученных видов механического износа. Ударно-абразивному изнашиванию в большей степени подвержены машины и механизмы нефтяной, горнодобывающей, строительной и дорожной отрасли. Одним из способов повышения износостойкости материалов, подверженных УАИ, является введение в их состав легирующих элементов. Определено влияние химического состава порошкового материала на ударно-абразивную износостойкость, и обоснована эффективность введения в состав порошковых материалов углерода, никеля и хрома. Анализ существующих работ и проведенные исследования показали, что повышение износостойкости компактных и порошковых сталей известными методами не обеспечивает их необходимым сочетанием свойств. Показана возможность повышения ударно-абразивной износостойкости компактных и порошковых материалов за счет демпфирования энергии удара в композиционных образцах, состоящих из слоев износостойкой стали и упруго-диссипативной подложки. Установлено, что применение упругих подложек снижает износ композиционного материала за счет поглощения и рассеивания энергии удара. Раскрыта особенность механизма УАИ композиционного материала с применением упруго-диссипативной подложки, показано влияние ее свойств на интенсивность изнашивания. Для исследования ударно-абразивной износостойкости композиционного материала были изготовлены образцы, состоящие из слоя износостойкой стали и упруго-демпфирующего слоя. Упруго-демпфирующий слой крепился к износостойкому слою с применением технологии горячей и холодной вулканизации. Испытания композиционных образцов на УАИ проводили на специальной установке. Определены дальнейшие направления исследований.

Ключевые слова: ударно-абразивное изнашивание, порошковый композиционный материал, упруго-диссипативная подложка, демпфирование, повышение износостойкости, энергия удара, легирование, хром, никель, углерод.

P.V. Sirotin, B.G. Gasanov, M.A. Ismailov

The South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov,
Novocherkassk, Russian Federation

**EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF IMPROVING SHOCK-ABRASIVE PERFORMANCE
OF COMPOSITE MATERIALS AT THE ACCOUNT
OF OPTIMIZATION OF THEIR ELASTIC-DISSIPATIVE PROPERTIES**

The work is devoted to the study of the mechanism of shock-abrasive wear (AIM) as one of the poorly studied types of mechanical wear. Machines and mechanisms of the oil, mining, construction and road sectors are more susceptible to abrasive wear. One of the ways to improve the wear resistance of materials subjected to AIM is the introduction of alloying elements into their composition. The influence of the chemical composition of the powder material on impact-abrasive wear resistance was determined and the effectiveness of the introduction of carbon, nickel and chromium into the powder materials was substantiated. The analysis of existing works and conducted studies have shown that increasing the wear resistance of compact and powder steels by known methods does not provide them with the necessary combination of properties. The paper shows the possibility of increasing the shock-abrasive wear resistance of compact and powder materials due to the damping of impact energy in composite samples consisting of layers of wear-resistant steel and an elastic-dissipative substrate. It has been established that the use of elastic substrates reduces the wear of a composite material due to the absorption and dissipation of the impact energy. A feature of the AIM mechanism of a composite material with the use of an elastic-dissipative substrate and the influence of its properties on the wear rate are disclosed. To study the impact-abrasive wear resistance of a composite material, samples were made consisting of a layer of wear-resistant steel and an elastic damping layer. The elastic damping layer was attached to the wear-resistant layer using hot and cold vulcanization technology. Testing of composite samples on AIM was carried out on a special installation. Further research directions are identified.

Keywords: shock-abrasive wear, powder composite material, elastic-dissipative substrate, damping, increased wear resistance, impact energy, alloying, chromium, nickel, carbon.

Введение

На сегодняшний день актуальной задачей является создание деталей из композиционных материалов и покрытий, которые смогли бы объединить в себе такие качества, как высокая износостойкость в условиях абразивного и ударно-абразивного износа в узлах трения, сравнительно низкий коэффициент трения, высокая коррозионная стойкость, технологичность и невысокая стоимость [1, 2].

Одной из причин износа и выхода из строя машин и механизмов горнодобывающей, нефтегазовой, строительной, дорожной и перерабатывающей промышленности является ударно-абразивное изнашивание (УАИ), которое в настоящее время является одним из малоизученных видов износа [3–5]. Отличительный признак УАИ – это ударное взаимодействие деталей, при котором происходит деформация микрообъемов или их скалывание, что приводит к интенсивному разрушению поверхностного слоя деталей. Материалы, подверженные УАИ, должны обладать сочетанием свойств, таких как твердость, вязкость, ударная прочность, что может быть достигнуто легированием, например никелем, хромом, а также упрочнением [3–11, 12]. Поскольку интенсивность УА износа связана с таким параметром внешнего силового воздействия, как энергия удара, материалы должны обладать достаточным уровнем демпфирующих свойств. В свою очередь, повышение демпфирующих свойств материала снижает его прочностные характеристики. Ввиду этого перспективным направлением является применение многослойных композиционных материалов «износостойкая сталь –

упруго-диссипативная подложка». Применение упруго-диссипативной подложки позволяет повысить УАИ за счет повышения демпфирующих свойств материала, сохранив при этом его высокие прочностные характеристики.

Методика исследований

Влияние легирующих компонентов и способа их введения на УАИ было изучено на образцах из промышленно производимых порошков хрома и никеля. Шихту готовили из смеси порошков железа ПЖВ 3.160.26 (осн.), графита карандашного ГК-3, порошка никеля ПНК-1Л15. Шихту различного состава (таблица) получали смешиванием в конусном смесителе в течение 2 ч, статическое холодное прессование проводили под давлением 600 МПа. Прессовки спекали при температуре 1150 °С в течение 2 ч в среде осушенного диссоциированного аммиака. В таблице представлены составы испытуемых материалов, вид и параметры термической обработки, твердость перед испытанием и абсолютный износ.

Для оценки возможности повышения ударно-абразивной износостойкости исследовано влияние упруго-диссипативных слоев на ударно-абразивный износ композиционных материалов.

В качестве материала для упруго-диссипативной подложки применяли подложки из бутилкаучука марки БК-675Н. Подложки из бутилкаучука склеивали между собой и износостойким слоем с применением технологий горячей и холодной вулканизации [13–16]. В качестве абразива использовали электрокорунд нормальный марки 14А с основным размером 0,3–0,355 мм.

Состав шихты, вид и параметры термообработки и свойства

№ п/п	Состав шихты	Вид термообработки	Твердость HRC	Износ, г
1	ПЖВ 3.160.26 (осн.) + ГК-3 (0,5 %) + ПНК-1Л15 (1 %)	Спекание, охлаждение с печью	28	0,064
		Закалка с 950 °С в воду + отпуск 200 °С	43	0,035
2	ПЖВ 3.160.26 (осн.) + ГК-3 (0,5 %) + ПНК-1Л15 (5 %)	Спекание, охлаждение с печью	32	0,32
		Закалка с 950 °С в воду + отпуск 200 °С	46	0,021
3	ПЖВ 3.160.26 (осн.) + ГК-3 (0,5 %) + ПНК-1Л15 (10 %)	Спекание, охлаждение с печью	33	0,023
		Закалка с 950 °С в воду + отпуск 200 °С	46	0,018
4	ПЖВ 3.160.26 (осн.) + ГК-3 (1 %) + ПНК-1Л15 (1 %)	Спекание, охлаждение с печью	28	0,072
		Закалка с 950 °С в воду + отпуск 200 °С	48	0,061
5	ПЖВ 3.160.26 (осн.) + ГК-3(1 %) + ПНК-1Л15 (5 %)	Спекание, охлаждение с печью	32	0,028
		Закалка с 950°С в воду + отпуск 200°С	50	0,016
6	ПЖВ 3.160.26 (осн.) + ГК-3 (1 %) + ПНК-1Л15 (10 %)	Спекание, охлаждение с печью	32	0,021
		Закалка с 950 °С в воду + отпуск 200 °С	52	0,019

№ п/п	Состав шихты	Вид термообработки	Твердость HRC	Износ, г
7	ПЖВ 3.160.26 (осн.) + ПР-65Х25Г13Н3(5 %)	Спекание, охлаждение с печью	34	0,02
		Закалка с 950 °С в воду + отпуск 200 °С	46	0,015
8	ПЖВ 3.160.26 (осн.) + ПР-65Х25Г13Н3(10 %)	Спекание, охлаждение с печью	38	0,044
		Закалка с 950 °С в воду + отпуск 200 °С	49	0,012
9	ПЖВ 3.160.26 (осн.) + ПР-65Х25Г13Н3(20 %)	Спекание, охлаждение с печью	39	0,08
		Закалка с 950 °С в воду + отпуск 200 °С	50	0,018
10	ПЖВ 3.160.26 (осн.) + ПР-65Х25Г13Н3(40 %)	Спекание, охлаждение с печью	37	–
		Закалка с 950 °С в воду + отпуск 200 °С	52	0,018
11	ПЖВ 3.160.26 (осн.) + ПВ-Х18Н15-56 (5 %)	Спекание, охлаждение с печью	32	0,018
		Закалка с 950 °С в воду + отпуск 200 °С	47	0,015
12	ПЖВ 3.160.26 (осн.) + ПВ-Х18Н15-56 (10 %)	Спекание, охлаждение с печью	35	0,023
		Закалка с 950 °С в воду + отпуск 200 °С	48	0,013
13	ПЖВ 3.160.26 (осн.) + ПВ-Х18Н15-56 (20 %)	Спекание, охлаждение с печью	37	0,028
		Закалка с 950 °С в воду + отпуск 200 °С	52	0,014
14	ПЖВ 3.160.26 (осн.) + ПВ-Х18Н15-56 (40 %)	Спекание, охлаждение с печью	38	0,22
		Закалка с 950 °С в воду + отпуск 200 °С	53	0,016
15	Сталь 45 (компактная)	Отжиг 860 °С	35	0,022
		Закалка с 860 °С в воду + отпуск 200 °С	52	0,014
16	Сталь 40ХН2МА (компактная)	Отжиг 860 °С	36	0,018
		Закалка с 840 °С в масло + отпуск 200 °С	54	0,011

Твердость на поверхности образцов из компактной стали 40Х составила 35–40 HRC. Энергия удара $E_{уд} = 9,5$ Дж, а скорость $V_{уд} = 2,6$ м/с. Один цикл испытаний образца составил 1500 ударов, в том числе 500 ударов приработки.

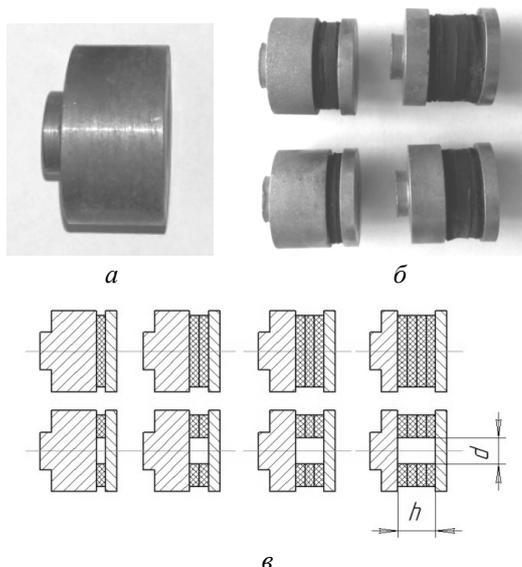


Рис. 1. Композиционные образцы: *а* – из компактного материала, *б* – с упруго-диссипативной подложкой и (*в*) их варианты, используемые для исследования (*h* – высота упругого слоя, *d* – диаметр упругого слоя)

Исследование влияния упруго-диссипативных подложек на износостойкость при ударно-абразивном изнашивании проводилось на специальной установке [17]. Для испытаний были изготовлены композиционные образцы из компактной стали 40Х с упруго-диссипативными подложками различной конфигурации (рис. 1).

Результаты исследования

Результаты исследований показали (см. таблицу), что износ у образцов после спекания больше, чем у образцов после термической обработки. На рис. 2 показано влияние содержания графита на твердость и износ образцов. Повышение содержания углерода (см. рис. 2) с 0,5 до 1,0 % приводит к повышению твердости с 42 до 47 HRC (см. рис. 2, кривая 2) и снижению износа от 0,06 до 0,023 г (см. рис. 2, кривая 1). Глубина лунок, образованных при внедрении абразивных частиц, значительно уменьшается (рис. 3, *а*, *в*). Дальнейшее увеличение содержания в шихте углерода от 1,0 до 2,5 % приводит к постепенному увеличению износа до 0,033 г, при этом геометрические параметры поверхности образцов не изменяются, а наименьший износ имели образцы, содержащие в шихте около 1,2 % графита (рис. 3, *д*).

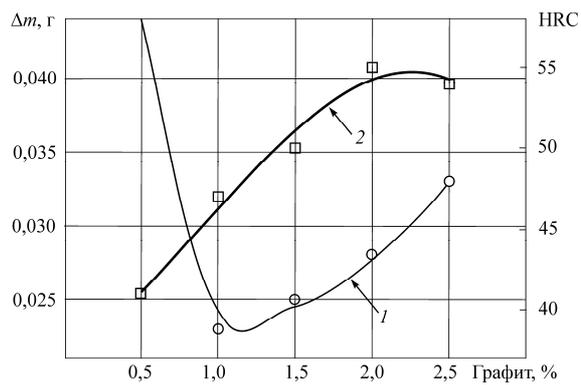


Рис. 2. Зависимость УА износа (1) и твердости (2) от содержания графита

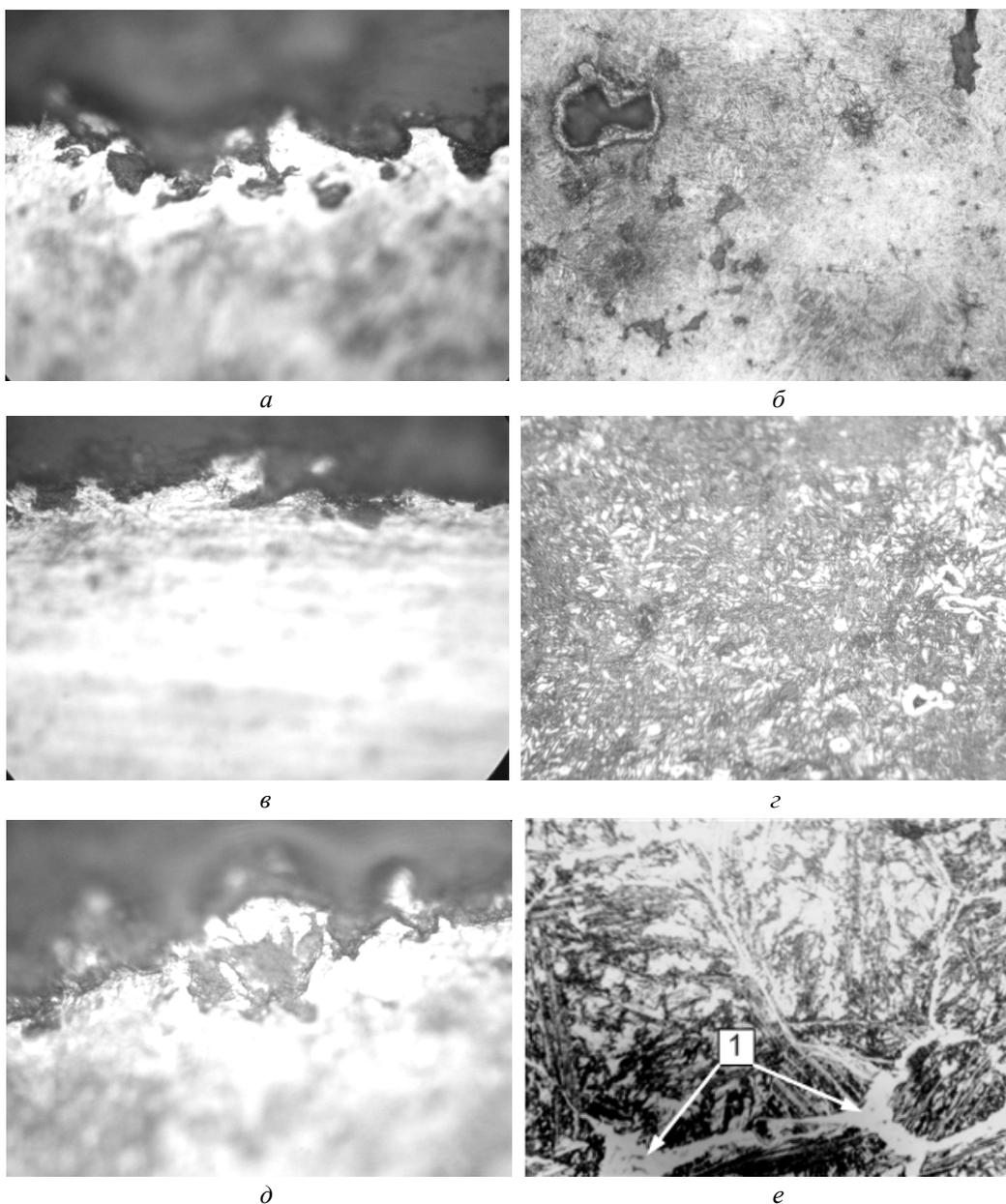


Рис. 3. Микроструктура образцов: поверхностного слоя (а, в, д) и сердцевины (б, г, е) после испытания при содержании графита в шихте, %: а, б – 0,5; в, г – 1,5; д, е – 2,5

Выявленная особенность порошковой стали хорошо согласуется с результатами исследований УАИ компактных сталей [3, 4], для которых износостойкость не имеет прямой корреляции с твердостью материалов.

Из таблицы видно, что наиболее существенно снижается ударно-абразивный износ образцов при легировании никелем. Минимальный износ имели образцы с содержанием никеля 1–5 %, а дальнейшее увеличение его содержания до 10–15 % не вызвало повышения износостойкости. Кроме того, на износ образцов существенное влияние оказывает не только количество, но и способ введения хрома в шихту.

Характер износа образцов можно оценить по изменению рельефа поверхности изнашивания. Если сталь имеет невысокую твердость (например, при содержании углерода менее 0,5 %), то разрушение обусловлено многократной локальной пластической деформацией в зоне износа. За время испытания абразивные частицы легко внедряются в малоуглеродистую железную матрицу, при этом образуются глубокие лунки, которые отделены друг от друга локальными зонами наклепанного металла. Последующее внедрение абразивных частиц вызывает срез этих зон при их перемещении (сдвиге) к ранее образованным лункам. На рис. 3, а видны следы таких лунок, образованных в результате пластической деформации на поверхности изнашивания.

Кроме этого, повышение износа с увеличением содержания графита, по-видимому, связано с образованием дополнительных пор в местах, где находился графит, который активно растворился в аустените при спекании. Высокая пористость образцов интенсифицирует образование трещин и отделение дисперсных частиц с поверхности изнашивания. Такой механизм износа согласуется с результатами работы [8], в которой показано, что при высоком содержании графита во время спекания он интенсивно растворяется в железе, чем вызывает образование дополнительных пор, снижение прочности, вязкости и износостойкости порошковой стали.

Уменьшение размеров лунок на поверхности образцов с высоким содержанием углерода связано с изменением механизма износа. Известно, что с повышением содержания углерода в стали возрастает твердость и ухудшаются пластические свойства, поэтому изнашивание образцов происходит главным образом за счет хрупкого выкрашивания твердых структурных составляющих.

Введение в состав порошковых сталей легирующих элементов, которые позволяют получить

определенное сочетание твердости и вязкости, в настоящее время не позволяет обеспечить необходимый уровень УАИ. Однако повысить УАИ возможно введением в состав стали материалов с высокими демпфирующими свойствами, но они снижают прочностные свойства легированной стали, что в итоге приводит к снижению УАИ.

Известны металлы и сплавы высокого демпфирования, такие как марганцевомедные, никель-кобальтовые, сплавы магния и др. [11, 18]. Основными ограничениями широкого использования указанных материалов с высокой демпфирующей способностью в промышленности являются дороговизна некоторых материалов, а также низкий уровень физико-механических характеристик, в первую очередь прочностных.

В работе предлагается для повышения УАИ износостойкой стали использовать в качестве демпфера упруго-диссипативные подложки, которые позволяют снизить УА износ за счет поглощения и рассеивания энергии удара, воздействующей на сталь [19, 20].

В связи с чем в работе проведено исследование влияния композиционного материала «износостойкая сталь – упругодемпфирующая подложка» на УАИ.

В результате исследований установлено, что жесткость c образцов зависит от площади поперечного сечения S_0 упругого элемента (рис. 4). Выявлена зависимость износа от жесткости c и объема V упруго-диссипативной подложки, которая напрямую зависит от уровня демпфирования (рис. 5, 6). Из рис. 5 видно, что использование упруго-диссипативной подложки позволяет снизить износ образцов. Это можно объяснить тем, что при ударе образца с демпфирующим слоем происходит поглощение части энергии удара. Вследствие чего сдвиговые процессы на поверхности удара, которые

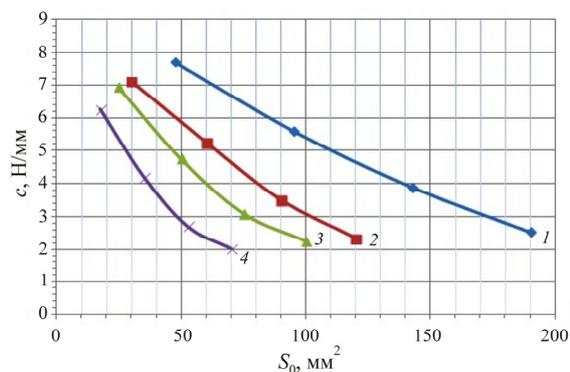


Рис. 4. Зависимость жесткости от площади поперечного сечения упругой подложки: 1 – без отверстия; 2 – диаметр отверстия 7 мм; 3 – диаметр отверстия 9 мм; 4 – диаметр отверстия 12 мм

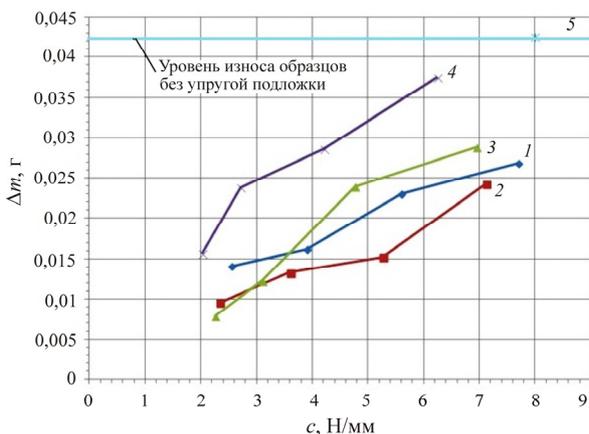


Рис. 5. Зависимость УАИ от жесткости подложки при $E_{уд} = 9,5$ Дж, $V_{уд} = 2,6$ м/с: 1 – без отверстия; 2 – диаметр отверстия 7 мм; 3 – диаметр отверстия 9 мм; 4 – диаметр отверстия 12 мм; 5 – без упругой подложки

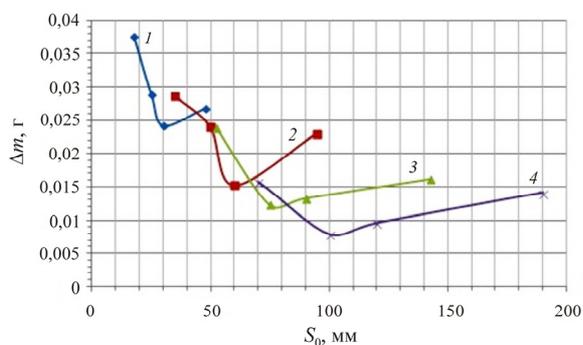


Рис. 6. Зависимость УАИ от площади поперечного сечения S_0 упругой подложки: 1 – высота упругой подложки $h = 2,5$ мм; 2 – высота упругой подложки $h = 5$ мм; 3 – высота упругой подложки $h = 7,5$ мм; 4 – высота упругой подложки $h = 10$ мм

приводят к образованию частиц износа, постепенно затухают и абразивное действие твердой частицы ограничено поверхностью образуемой лунки, а сдвиговые процессы металла перемычек сведены к минимуму. Как видно из рис. 6, на УАИ влияет изменение площади поперечного сечения S_0 упругой подложки. Площадь поперечного сечения изменяли не только высотой h упругого элемента, но и вырубкой в нем отверстий разной конфигурации. Так, наименьший износ 0,0079 г имели образцы с площадью поперечного сечения $S_0 = 100$ мм².

Выводы

Введение в шихту графита оказывает существенное влияние на УАИ за счет изменения механизма износа. Наименьший износ достигается при содержании графита 1,0–1,5 мас. %. При такой концентрации графита на поверхности порошковой стали достигается оптимальное сочетание

твердости и вязкости как основных параметров, обеспечивающих устойчивость к УА износу.

На износ порошкового материала влияет не только количество, но и способ введения легирующего элемента. Так, при введении хрома в состав сплава ПР-65Х25Г13Н3 величина износа будет определяться количеством частиц порошка на поверхности удара, содержание которых пропорционально концентрации хрома. При введении хрома в состав порошка ПВ-Х18Н15-56 повышение износа объясняется разупрочнением матрицы в результате диффузии углерода в зоны с высокой концентрацией хрома. Введение никеля также обеспечивает повышение УАИ из-за упрочнения матрицы и повышения вязкости порошкового материала

Применение упруго-диссипативных подложек позволяет увеличить износостойкость компактных и порошковых композиционных материалов к ударно-абразивному изнашиванию за счет поглощения и рассеивания воздействующей на них энергии удара. Износ композиционного материала зависит от жесткости (см. рис. 5) и объема упруго-диссипативной подложки (см. рис. 6), которая определяет величину демпфирования за счет потерь на гистерезис в объеме материала.

В дальнейшем планируется оценить влияние коэффициента демпфирования на УАИ, а также установить общие закономерности влияния удельных упруго-диссипативных свойств на УАИ композитного материала и разработать технологию крепления порошковых сталей к упругодемпфирующей подложке с обеспечением заданного уровня адгезии.

Список литературы

1. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безызносность): учеб. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МСХА, 2001. – 616 с.
2. Анциферов В.Н. Перспективные материалы и технологии порошковой металлургии: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 109 с.
3. Изнашивание при ударе / В.Н. Виноградов, Г.М. Сорокин [и др.]. – М.: Машиностроение, 1982. – 192 с.
4. Виноградов В.Н., Сорокин Г.М. Износостойкость сталей и сплавов: учеб. пособие для вузов. – М.: Нефть и газ, 1994. – 417 с.
5. Сиротин П.В. Структурообразование, свойства и технологии получения легированных порошковых сталей и деталей из них для буровых и цементировочных насосов: дис. ... канд. техн. наук / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова. – Новочеркасск, 2011. – 177 с.
6. Пародин А.М. Разработка безвольфрамового наплавочного материала для упрочнения поверхностей из-

делий, работающих в условиях ударно-абразивного изнашивания: дис. ... канд. техн. наук. – М., 1984. – 228 с.

7. Попов С.Н. Физические и материаловедческие основы изнашивания деталей машин [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.zntu.edu.ua/base/i2/iff/k3/ukr/tribos/books/books.htm> (дата обращения: 5.10.2018).

8. Мищенко А.Н. Повышение долговечности объемно-армированных изделий, работающих в условиях абразивного и ударно-абразивного изнашивания за счет использования в качестве основы нестабильно-аустенитных сталей: дис. ... канд. техн. наук. – Новочеркасск, 1984. – 186 с.

9. Анциферов В.Н., Акименко В.Б. Спеченные легированные стали. – М.: Металлургия, 1983. – 88 с.

10. Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы. – М.: Академия, 2005. – 180 с.

11. Порошковые материалы на основе железа и меди. Атлас структур / П.А. Витязь, Л.Ф. Керженцева, Л.Н. Дьячкова, Л.В. Маркова. – Минск: Белорусская наука, 2008. – 155 с.

12. Тененбаум М.М. Сопротивление абразивному изнашиванию. – М.: Машиностроение, 1976. – 271 с.

13. Белозеров Н.В. Технология резины. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1979. – 472 с.

14. Лепетов В.А. Резиновые технические изделия. – 3-е изд., испр. – Л.: Химия, 1976. – 440 с.

15. Кошелев Ф.Ф., Корнев А.Е., Буканов А.М. Общая технология резины. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1978. – 528 с.

16. Берлин А.А., Басин В.Е. Основы адгезии полимеров. – М.: Химия, 1974. – 392 с.

17. Установка для испытания на ударно-абразивное и ударно-гидроабразивное изнашивание конструкционных и специальных материалов: пат. 2434219 Рос. Федерация, МПК G01N3/56 / Гасанов Б.Г., Сиротин П.В., Ефимов А.Д.; Заявл. 15.12.2009; Опубл. 20.11.2011. Бюл. № 32.

18. Фавстлов Ю.К., Шульга Ю.Н. Сплавы с высокими демпфирующими свойствами. – М.: Металлургия, 1973. – 256 с.

19. Головин С.А., Пушкар А., Левин Д.М. Упругие и демпфирующие свойства конструкционных металлических материалов. – М.: Металлургия, 1987. – 190 с.

20. Израелит Г.Ш. Механические испытания резины и каучука. – Л.; М.: Госхимиздат, 1949. – 457 с.

References

1. Garkunov D.N. Tribotekhnika (iznos i bezyznosnost'): uchebnik [Tribotekhnika (wear and bezyznosnost)]. 4nd. ed. Moscow: Izdatel'stvo MSKhA, 2001, 616 p.

2. Antsiferov V.N. Perspektivnye materialy i tekhnologii poroshkovoi metallurgii: uchebnoe posobie [Perspective materials and technologies of powder metallurgy]. Izdatel'stvo Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta, 2014, 109 p.

3. Vinogradov V.N., Sorokin G.M. Iznashivanie pri udare [Wear at blow]. Moscow: Mashinostroenie, 1982, 192 p.

4. Vinogradov V.N., Sorokin G.M. Iznosostoikost' staley i splavov: uchebnoe posobie dlia vuzov [Wear resistance staly and alloys]. Moscow: Neft' i gaz, 1994, 417 p.

5. Sirotin P.V. Strukuroobrazovanie, svoistva i tekhnologii polucheniia legirovannykh poroshkovykh staley i detalei iz nikh dlia burovykh i tsementirovochnykh nasosov [Structurization, properties and technologies of receiving alloyed powder staly and details from them for boring and cementing pumps]. Ph. D. thesis. Novocherkassk, 2011, 177 p.

6. Parodin A.M. Razrabotka bezvol'framovogo naplavochnogo materiala dlia uprochneniia poverkhnosti izdelii, rabotaiushchikh v usloviakh udarno-abrazivnogo iznashivaniia [bezvolframovy naplavochny material for hardening of surfaces of the products working in the conditions of shock and abrasive wear]. Ph. D. thesis. Moscow, 1984, 228 p.

7. Popov S.N. Fizicheskie i materialovedcheskie osnovy iznashivaniia detalei mashin [Physical and materials research bases of wear of details of cars]. URL: <http://www.zntu.edu.ua/base/i2/iff/k3/ukr/tribos/books/books.htm> (data obrashcheniia: 5.10.2018).

8. Mishchenko A.N. Povyshenie dolgovечnosti ob'emno-armirovannykh izdelii, rabotaiushchikh v usloviakh abrazivnogo i udarno-abrazivnogo iznashivaniia za schet ispol'zovaniia v kachestve osnovy nestabil'no-austenitnykh staley [Increase in durability of the volume reinforced products working in the conditions of abrasive and shock and abrasive wear due to use as a basis unstable and austenitic with staly]. Ph. D. thesis. Novocherkassk, 1984, 186 p.

9. Antsiferov V.N., Akimenko V.B. Spechennye legirovannye stali [Baked alloyed became]. Moscow: Metallurgii, 1983, 88 p.

10. Andrievskii R.A., Ragulia A.V. Nanostrukturnye materialy [Nanostructural materials]. Moscow: Akademia, 2005, 180 p.

11. Vitiaz' P.A., Kerzhentseva L.F., D'iachkova L.N., Markova L.V. Poroshkovye materialy na osnove zheleza i medi. Atlas struktur [Powder materials on the basis of iron and copper. Atlas of structures]. Minsk: Belorusskaia nauka, 2008, 155 p.

12. Tenenbaum M.M. Soprotivlenie abrazivnomu iznashivaniiu [Resistance to abrasive wear]. Moscow: Mashinostroenie, 1976, 271 p.

13. Belozеров N.V. Tekhnologiya reziny [Rubber technology]. 3nd. ed. Moscow: Khimiia, 1979, 472 p.

14. Lepetov V.A. Rezinovye tekhnicheskie izdeliia [Rubber technical products]. 3nd. ed. Leningrad: Khimiia, 1976, 440 p.

15. Koshelev F.F., Kornev A.E., Bukanov A.M. Obshchaia tekhnologiya reziny [General technology of rubber]. 4nd. ed. Moscow: Khimiia, 1978, 528 p.

16. Berlin A.A., Basin V.E. Osnovy adgezii polimerov [Bases of adhesion of polymers]. Moscow: Khimiia, 1974, 392 p.

17. Gasanov B.G., Sirotin P.V., Efimov A.D. Ustanovka dlia ispytaniia na udarno-abrazivnoe i udarno-gidroabrazivnoe iznashivanie konstruktсионnykh i spetsial'nykh materialov [Installation for test for shock and abrasive and shock and hydroabrasive wear of structural and special materials]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2434219, (2011).

18. Favstlov Iu.K., Shul'ga Iu.N. Splavy s vysokimi dempfiroiushchimi svoistvami [Alloys with the high damping properties]. Moscow: Metallurgii, 1973, 256 p.

19. Golovin S.A., Pushkar A., Levin D.M. Uprugie i dempfirovaniushchie svoystva konstruktsionnykh metallicheskih materialov [The elastic and damping properties of structural metal materials]. Moscow: Metallurgiya, 1987, 190 p.

20. Izraelit G.Sh. Mekhanicheskie ispytaniia reziny i kauchuka [Mechanical tests of rubber and rubber]. Leningrad; Moscow: Goskhimizdat, 1949, 457 p.

Получено 16.10.18

Опубликовано 20.12.18

Об авторах

Сиротин Павел Владимирович (Новочеркасск, Россия) – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автомобилей и транспортно-технологических комплексов Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова; e-mail: spv_61@mail.ru.

Гасанов Бадрудин Гасанович (Новочеркасск, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры международных логистических систем и комплексов Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова; e-mail: KafmIsik@gmail.com.

Исмаилов Маркиз Азизович (Новочеркасск, Россия) – соискатель кафедры автомобилей и транспортно-технологических комплексов Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова; e-mail: al_myalim@mail.ru

About the authors

Pavel V. Sirotnin (Novocherkassk, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Automobiles and Transport and Technological Complexes, The South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov; e-mail: spv_61@mail.ru.

Badrudin G. Gasanov (Novocherkassk, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of International Logistics Systems and Complexes, The South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov; e-mail: KafmIsik@gmail.com.

Markiz A. Ismailov (Novocherkassk, Russian Federation) – Applicant, Department of Automobiles and Transport-Technological Complexes, The South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov; e-mail: al_myalim@mail.ru.