

Влияние параметров вибрации на процесс разрушения абразива при трении скольжении

**Ю. С. Дубинов, О. Ю. Елагина, О. Б. Дубинова,
А. Г. Буклаков, И. С. Куликова**

Представлены результаты исследований изменения параметров вибраций, возникающих при скольжении высокотвердого композиционного материала по монолитному абразиву, в зависимости от условий нагружения и материального исполнения контактирующих элементов. Измерены параметры вибрации в зависимости от прикладываемой осевой нагрузки, скорости относительного перемещения и материала оправки, удерживающей твердосплавный элемент. Проведена оценка усилия, создаваемого вибрацией в зоне трения, и его влияние на характеристики разрушения абразива. Показано влияние параметров вибрации на распределение энергии между тепловой и механической составляющими при трении.

Ключевые слова: вибрация, трение скольжение, виброскорость, виброускорение, демпфирующие материалы, абразив.

DOI: 10.30791/1028-978X-2020-12-73-80

Введение

В настоящее время помимо основных механических свойств материалов, обеспечивающих конструктивную прочность узлов и деталей, потребители и производители особое внимание стали уделять наличию различных специальных свойств, позволяющих расширить область применения и надежность изготовленного оборудования. Одним из таких свойств является способность материала усиливать или демпфировать возникающие вибрации в процессе эксплуатации оборудования.

Буровое оборудование и инструмент, применяемые в нефтегазовой отрасли, в процессе эксплуатации активно контактируют с абразивными горными породами. Побочным эффектом такого контакта является возникновение случайных вибраций. Вибрации в большинстве случаев позволяют ускорить многие процессы, например, процесс бурения, процесс фрезерования и пр. Однако эта вибрация должна быть сосредоточена только в зоне непосредственного контакта инструмента и поверхности. При передаче вибрации на контактирующие элементы, ее воздействие будет негативно

сказываться на надежности и наработке оборудования. Поэтому, вопросу создания различных демпфирующих устройств, позволяющих регулировать параметры вибрации, уделено большое количество работ [1, 2].

Согласно данным работ [3, 4] в настоящее время можно выделить две группы материалов с высоким уровнем демпфирования, в которых демпфирование происходит за счет внутреннего рассеяния энергии упругих колебаний. Первую группу представляют сверхвысокодempфирующие материалы на основе металлических систем Mn – Cu, Ni – Ti, Cu – Al – Ni, Cu – Zn – Al, Mg – Zr, Ni – Co, Fe – Cr, применение которых ограничено их высокой себестоимостью. Во вторую группу входят высокодемпирующие сплавы и стали на основе металлических систем Fe – Al и Fe – Al – Si [1 – 6], более перспективные с точки зрения общепромышленного применения. К группе Fe-Al, относятся такие марки сталей и сплавов, как “Serena”, “Intellial” (Япония) и 01Ю5Т (Россия) [1, 3, 4, 6, 7].

Определение демпфирующих свойств и характеристик материала на теоретическом уровне весьма проблематично, по причине изменения

демпфирующих способностей в зависимости от условий формирования вибрационных воздействий и их параметров. Поэтому подбор оптимальных условий эксплуатации для высокодемпфирующих материалов целесообразно проводить экспериментальными методами. В работе [8] рассмотрена возможность применения композиционного материала на основе никелида титана для изготовления режущего инструмента для обработки закаленных сталей. В результате изготовления новой конструкции режущего инструмента с виброгасящими элементами повышается стойкость инструмента в пределах от 1,2 до 2,4 раз за счет уменьшения величины вибраций. Также в работе [8] были проведены исследования демпфирующих свойств различных материалов — стали 40Х, твердых сплавов ВК, серого чугуна, различных керамик систем Ti – Al – С и Ti – SiC. Характер восприятия и гашения вибраций определяется одним из четырех механизмов демпфирования [2]: 1) применение материалов с высокой неоднородностью структуры; 2) применение материалов с высокими магнитными свойствами; 3) применение материалов с наличием термоупругого мартенсита; 4) применение материалов с высокоподвижными дислокациями, который выбирается исходя из условий эксплуатации.

В патенте [10] описана возможность применения никелида титана NiTi с различным фазовым составом и термообработкой для изготовления буровых долот PDC, применяемых для бурения особо крепких горных пород. Эффект применения никелида титана в данном случае будет достигаться за счет обратимых бездиффузионных процессов фазового перехода и двойникового. Возможность использования материалов с особыми свойствами при проектировании нефтегазового оборудования, в том числе для демпфирования колебаний, представлены в работах [5 – 7, 11].

Цель настоящей работы — исследование влияния параметров вибрации на процесс разрушения абразива твердосплавным резцом, закрепленным в оправке, изготовленной из материалов с разными демпфирующими свойствами.

Методика экспериментальных исследований

Исследования проводили на установке МТ-3, предназначенной для испытаний материалов на трение скольжение по монолитному абразиву. При проведении испытаний была использована схема трения “палец – диск”, реализуемая при фиксированной нормальной нагрузке и частоте вращения диска.

Фиксацию параметров вибрации проводили с помощью вибрметра Fluke 805, установленного в поперечном направлении к верхней точке штока оправки. Для регистрации параметров случайной вибрации использовали диапазон частот от 10 до 600 Гц. В процессе единичного цикла испытаний осуществляли не менее 5 замеров при каждом значении нагрузки, по которым определяли среднеарифметическое значение. Температуру оправки в процессе трения измеряли с помощью тепловизора Flir i5.

Испытания проводили при фиксированных значениях нормально направленной прижимной нагрузки в диапазоне от 5,0 до 955 Н на двух скоростях относительного скольжения — 0,4 и 0,6 м/с.

В качестве образца типа “палец” использовали цилиндрический резец из твердосплавного материала диаметром 13,44 мм и высотой 13 мм, который закрепляли в оправке, выполненной из сталей с разными демпфирующими свойствами, и устанавливали в специально спроектированную цангу. Общий вид цанги с резцом в сборе и размеры оправки представлены на рис. 1.

Оправки для крепления резца изготавливали из сталей 40ХН2МА (ГОСТ 8479-70) без термической обработки и 01Ю5Т (ТУ 14-1-5639-2013). Химический состав стали 01Ю5Т [4], в масс. %: Fe — основа, Al — 5,6, Si — 0,065, С — 0,008, Σ (Mn + Cu + Ni + Cr + Co) — 0,25, Σ (V + Nb + W + Mo + Ti + Zr) — 0,065, Σ (P+S) — 0,016, а стали 40ХН2МА (ГОСТ 8479-70), в масс. %: С — 0,37 – 0,44, Si — 0,17 – 0,37, Mn — 0,50 – 0,80, P — < 0,03, S —

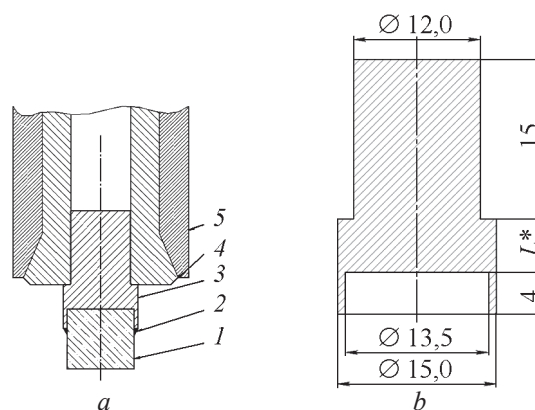


Рис. 1. *a* — схема крепления твердосплавного резца в цанге: 1 — твердосплавный элемент, 2 — серебряный припой, 3 — державка, 4 — цанга, 5 — оправка цанги; *b* — эскиз оправки.

Fig. 1. *a* — fastening scheme of a carbide cutter in a collet: 1 — carbide element, 2 — silver solder, 3 — holder, 4 — collet, 5 — collet mandrel; *b* — holder sketch.

$< 0,025$, Cr — 1,25 – 1,65, Mo — 0,15 – 0,25, Ni — 1,25 – 1,65, V — $< 0,03$, Ti — $< 0,03$, Cu $< 0,30$, N — $< 0,012$, W — $< 0,20$, Fe — остальное.

Высота демпфирующей части оправки (L^*) составляла 20 мм. В качестве ответной детали при трении использовали круг белого электрокорунда 25AF46L6V35 с зернистостью 250 – 425 мкм.

Общее время единичного цикла испытаний составляло по 10 мин на каждое значение нагрузки на резец. После завершения единичного цикла испытаний осуществляли замер глубины износа абразивного круга.

Результаты исследований и их обсуждение

В процессе испытаний проводили регистрацию таких параметров случайной вибрации как: величина смещения и среднеквадратическое значение виброускорения. Результаты выполненных измерений представлены на рис. 2.

Как видно из представленных данных увеличение скорости относительного перемещения от 0,4 до 0,6 м/с при использовании оправки из стали 40ХН2МА вызвало стабилизацию вибросмещения на всем диапазоне нагрузок, в то время как использование оправки из стали 01Ю5Т привело к нелинейному изменению значений смещения и виброускорения, особенно при увеличении скорости относительного скольжения резца.

Для комплексной оценки полученных данных по зафиксированным вибрационным параметрам были рассчитаны значения частоты вибрации (f [1/с]):

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{a}{D}}, \quad (1)$$

и виброскорости (v [м/с]):

$$v = D \cdot 2\pi f, \quad (2)$$

где D — смещение, м; a — среднеквадратическое ускорение, м/с²; f — частота, Гц.

Результаты расчетов представлены на рис. 3.

Анализ полученных данных показывает, что при скорости относительного перемещения 0,4 м/с оправка из стали 01Ю5Т обеспечивает более монотонное изменение частоты вибрации и виброскорости, чем оправка из стали 40ХН2МА. Увеличение линейной скорости до 0,6 м/с изменяет вибрационные характеристики процесса в сторону усиления вибрации при использовании оправки из стали 01Ю5Т и их сглаживания при применении стали 40ХН2МА.

Изменение вибрационных характеристик и их вклад в увеличение глубины износа абразивного диска можно оценить по величине силы вибрации. В режиме случайной вибрации вибрационная система создает номинальную толкающую силу, которая зависит от значения среднеквадратического виброускорения. Общее усилие на резец (F [Н]) определяется суммой статической прижимной нагрузки и усилия, создаваемого в результате вибрационного воздействия, и определяется по формуле:

$$F = N + m \cdot a, \quad (3)$$

где m — масса, действующая на резец, кг; N — статическая прижимная нагрузка, Н.

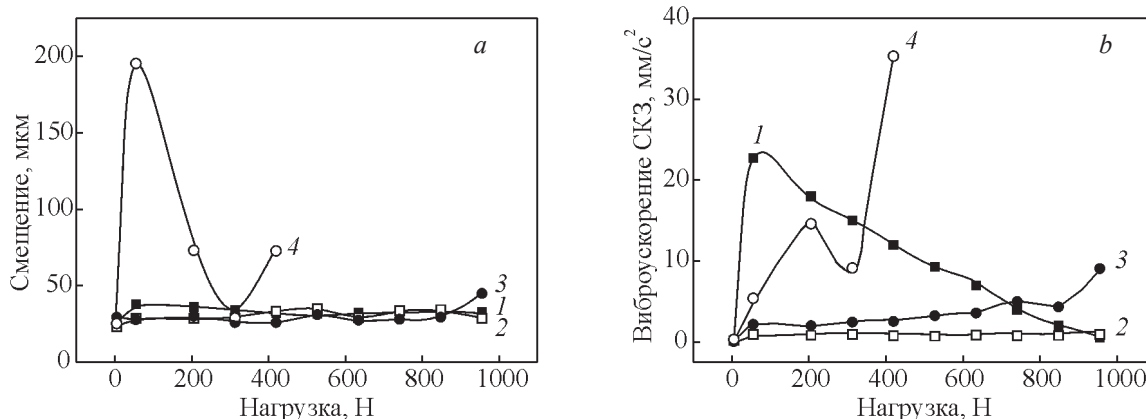


Рис. 2. Зависимости: a — смещения, b — виброускорения оправки из различных сталей из сталей 40ХН2МА (1, 2) и 01Ю5Т (3, 4) от действующих усилий при трении по диску белого электрокорунда 25AF46L6V35 при скоростях относительного перемещения 0,4 (1, 3) и 0,6 м/с (2, 4). СКЗ — среднеквадратичное значение.

Fig. 2. Dependence of displacement (a) and vibration acceleration (b) for holders from steels 40CrNi2MoN and 01A15Ti-types on active efforts during friction of hard alloy on disk under rates of relative relocation 0,4 (1, 3) and 0,6 m/s (2, 4).

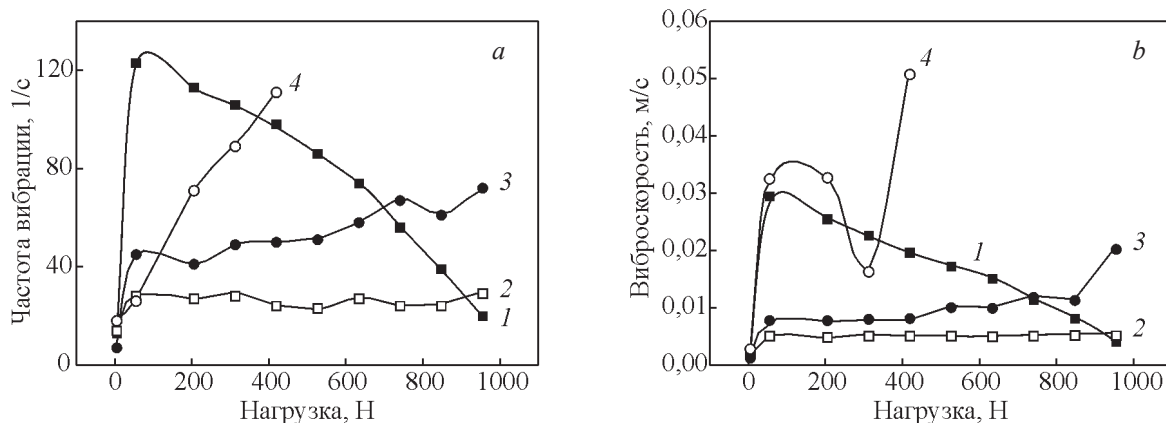


Рис. 3. Зависимости: *a* — частоты вибрации, *b* — виброскорости, от действующих усилий при использовании оправок из сталей 40ХН2МА (1, 2) и 01Ю5Т (3, 4) при скоростях относительного перемещения 0,4 (1, 3) и 0,6 м/с (2, 4).

Fig. 3. Vibration frequency (*a*) and vibration velocity (*b*) changes for holders from 40CrNi2MoN (1, 2) and 01Al5Ti-types (3, 4) steels under different rates of relative relocation 0,4 (1, 3) and 0,6 m/s (2, 4).

Результаты расчета суммарного усилия, действующего на резец с учетом силы случайной вибрации, представлены на рис. 4.

Из рис. 4 следует, что наиболее значительный вклад усилия, создаваемого вибрацией, фиксируется при использовании оправки из стали 01Ю5Т. При этом с увеличением скорости относительного перемещения прирост усилия на резец при одной и той же нагрузке возрастает более интенсивно. Такое увеличение нагрузки приводит к повыше-

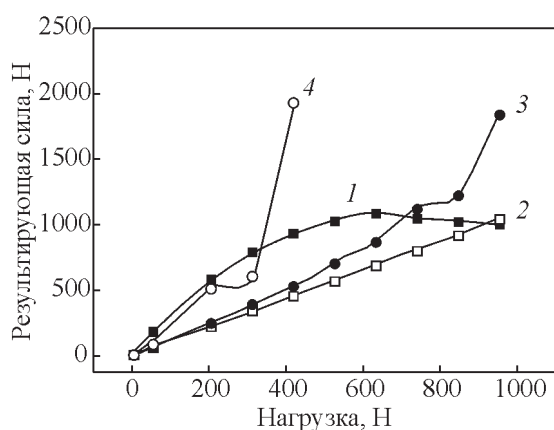


Рис. 4. Зависимость суммарного усилия, действующего на резец, от действующих усилий при использовании оправок из сталей 40ХН2МА (1, 2) и 01Ю5Т (3, 4) при скоростях относительного перемещения 0,4 (1, 3) и 0,6 м/с (2, 4).

Fig. 4. Dependence of total effort on cutter for holders from 40CrNi2MoN (1, 2) and 01Al5Ti-types (3, 4) steels under different rates of relative relocation 0,4 (1, 3) and 0,6 m/s (2, 4).

нию показателей разрушения абразива в процессе трения.

Анализ данных по величине линейного износа дорожки трения абразивного круга показывает, что воздействие максимальной результирующей силы до 1002 – 1043 Н, создаваемой оправкой из стали 40ХН2МА не приводит к износу абразивного круга. В то же время возрастание результирующей силы до 1836 – 1929 Н при прижимных усилиях 955 Н при скорости 0,4 м/с и на 420 Н при скорости 0,6 м/с с использованием оправки из стали 01Ю5Т приводит к появлению линейного износа на первой минуте в течение 1 цикла испытаний (табл. 1).

Следует отметить взаимосвязь между возрастанием линейного износа и снижением температуры разогрева оправки для крепления резца. При испытаниях с оправкой из стали 40ХН2МА результирующая сила, действующая на абразив, не обеспечивает его разрушение и энергия, выделяющаяся в зоне трения, идет на разогрев оправки до температур 137 – 147 °С. При использовании оправки из стали 01Ю5Т значительная часть энергии затрачивается на разрушение абразива и разогрев оправки до 62 – 64 °С. Исходя из зафиксированных значений температур нагрева и максимальных суммарных нагрузок получаем, что при использовании оправки из стали 01Ю5Т доля затрат энергии на нагрев не превышает 22 – 27 % от всей энергии, выделяющейся при трении.

По полученным в процессе испытаний данным был рассчитан механический импеданс и на его основе получены значения коэффициентов виброга-

Таблица 1

Результаты испытаний по разрушению абразива при трении скольжении в зависимости от условий нагружения и материального исполнения контактирующих элементов

Table 1

Data on abrasive destruction tests during sliding friction depending on loading conditions and used materials

Параметр испытаний	Материал оправки			
	40ХН2МА		01Ю5Т	
Скорость относительного перемещения, м/с	0,4	0,6	0,4	0,6
Результирующая сила, Н	1002	1043	1836	1929
Частота, Гц	20	29	72	111
Линейный износ, мм	0	0	2,0	3,0
Температура нагрева оправки, °С	147	137	64,6	62,3
Механический импеданс, (кН·с)/м	12	17	44	30

шения η для оправок из стали 40ХН2МА и стали 01Ю5Т при различных нагрузках по формуле

$$\eta = \frac{\mu}{f \cdot \sqrt{\frac{a}{D} \cdot \frac{F}{g}}}, \quad (4)$$

где μ — механический импеданс, (Н·с)/м; g — ускорение свободного падения, м/с². Зависимость коэффициента виброгашения от нагрузки представлена на рис. 5.

При минимальной нагрузке в 5 Н коэффициент виброгашения стали 01Ю5Т существенно превосходит коэффициент виброгашения стали 40ХН2МА. При росте нагрузки до максимальных значений для оправки из стали 40ХН2МА

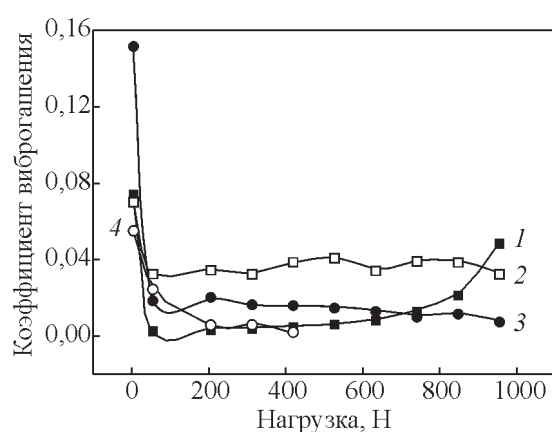


Рис. 5. Зависимость коэффициента виброгашения оправок от действующих усилий при использовании оправок из сталей 40ХН2МА (1, 2) и 01Ю5Т (3, 4) при скоростях относительного перемещения 0,4 (1, 3) и 0,6 м/с (2, 4).

Fig. 5. Dependence of vibration-damping coefficient for holders from 40CrNi2MoN (1, 2) and 01A15Ti-types (3, 4) steels on acting efforts under different rates of relative relocation 0,4 (1, 3) and 0,6 m/s (2, 4).

коэффициент виброгашения снижается до 0,051 и 0,035 для скоростей относительного перемещения 0,4 м/с и 0,6 м/с соответственно, а для стали 01Ю5Т — 0,014 и 0,009. Сравнивая полученные данные с информацией из [12, 13], можно сделать вывод об изменении демпфирующих свойств стали 01Ю5Т при росте частоты случайных вибраций.

Выводы

1. В процессе трения скольжения твердосплавного резца по абразиву в зоне трения формируются вибрационные воздействия с различными параметрами, изменение которых зависит не только от условий нагружения, но и от материала нагружающего устройства.

2. Показано, что использование стали 01Ю5Т при росте контактной нагрузки и скорости относительного перемещения обеспечивает более выраженную тенденцию к возрастанию частоты вибрации и виброскорости, чем оправка из конструкционной стали 40ХН2МА.

3. Использование оправки из стали 01Ю5Т обеспечивает более значительный вклад усилия, создаваемого вибрацией, чем оправка из конструкционной стали 40ХН2МА, что приводит к интенсификации износа монолитного абразива в процессе трения при одних и тех же параметрах нагружения.

4. При величине результирующей силы в интервале 1000 – 1050 Н, выделяемая в процессе трения энергия практически полностью идет на разогрев оправки. Увеличение результирующего усилия до 1830 – 1930 Н приводит сокращению доли энергии, идущей на нагрев до 22 – 27 % и повышению энергозатрат, вызывающих разрушение абразива.

5. Максимальное значение коэффициента демпфирования для стали 01Ю5Т возникает при

значении частоты случайной вибрации, не превышающей 20 Гц. Рост частоты приводит к снижению коэффициента демпфирования до величин 0,031 – 0,051, что способствует резкому увеличению глубины износа абразива.

6. Применение материалов с различным уровнем демпфирующих параметров может обеспечить повышение эффективности работы бурового инструмента при сохранении исходных параметров нагружения, однако требует корректного анализа диапазонов обеспечения эффективной работы.

Литература

1. Ashby M.F. *Materials selection in mechanical design*. Pergamon Press, Oxford, UK, 1992, 367 p
2. Головин И.С., Головин С.А. Сплавы высокого демпфирования. Бюлл. НТИ. Черная металлургия: Обзор, 1989, вып. 5(1081), с. 7 – 30.
3. Чудаков И.Б., Александрова Н.М., Макушев С.Ю. Особенности потребительских свойств новых высокодемпфирующих сталей. *Сталь*, 2014, № 8, с. 92 – 95.
4. Чудаков И.Б. Новые промышленные высокодемпфирующие стали. Сборник трудов IV Всероссийской молодежной школы-конференции “Современные проблемы металловедения”, Севастополь, 12 – 17 сентября 2016 г., М.: Национальный исследовательский технологический университет “МИСиС”, 2016, с. 53 – 61.
5. Elagina O.Yu., Vyshegorodtseva G.I., Dubinov Yu.S., Dubinova O.B. The current state of the use materials with shape memory effect in the oil and gas and related industries. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, v. 1347, iss. 1, no. 012020 DOI: 10.1088/1742-6596/1347/1/012020.
6. Прыгаев А.К., Дубинов Ю.С., Белоцерковская Ю.С., Дубинова О.Б., Наконечная К.В., Лукьянова О.А. Разработка энергоэффективного диафрагменного насоса с диафрагмой из никелида титана. *Химическое и нефтегазовое машиностроение*, 2019, № 2, с. 40 – 42.
7. Дубинов Ю.С., Дубинова О.Б., Елагина О.Ю., Прыгаев А.К., Захаров Н.С. Сальниковое уплотнение с применением материалов с эффектом памяти формы для насосов, используемых при перекачке сжиженного природного газа. *Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса*, 2020, № 2(116), с. 27 – 31.
8. Шевченко А.Д., Девин Л.Н., Осадчий А.А. Особенности демпфирующей способности композиционного материала на основе никелида титана. *Современные проблемы естественных наук (Украина, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина)*, 2014, т. 1(2), с. 63 – 68.
9. Старостина А.В., Прихна Т.А., Осадчий А.А., Карпец М.В., Ковыляев В.В., Девин Л.Н.,

Свердун В.Б., Моциль В.Е., Козырев А.В., Кузнецов Р.А. Исследование демпфирующих свойств материалов на основе МАХ фазы Ti_3AlC_2 . *Проблемы современного физического материаловедения (Украина, Институт проблем материаловедения имени И. Н. Францевича)*, 2011, № 20, с. 73–79.

10. Сердюк М.И. Буровое долото. Патент РФ №2714164, МПК E21B 10/42. № 2019119506 Заявл.23.06.2019; Опубл. 15.02.2020.
11. Прыгаев А.К., Дубинов Ю.С., Елагина О.Ю., Байтемиров Р.Л., Дубинова О.Б. Демпфирующие свойства никелида титана как одна из ключевых особенностей при создании нефтегазового оборудования. *Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса*, 2020, № 3 (117), с. 8 – 13. DOI: 10.33285/1999-6934-2020-3(117)-8-13.
12. Каблов Е.Н., Кислякова В.И., Сагомонова В.А. и др. Композиционный вибропоглощающий материал. Патент РФ № 2572541, МПК E21B 10/42. № 2014136076/05. Заявл. 04.09.2014; Опубл. 20.01.2016.
13. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. Т. 6. Защита от вибраций и ударов. Под ред. Асташева В.К., Бабицкого В.И., Быховского И.И. и др. М.: Машиностроение, 1981, 456 с.

References

1. Ashby M.F. *Materials selection in mechanical design*. Pergamon Press, Oxford, UK, 1992, 367 p.
2. Golovin I.S., Golovin S.A. *Splavy vysokogo dempfirovaniya [High damping alloys]. Byulleten' NTI. Chernaya metallurgiya — Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economical Information*, 1989, no. 5(1081), pp. 7 – 30.
3. Chudakov I.B., Alexandrova N.M., Makushev S.Yu. *Osobennosti potrebitel'skikh svoystv novykh vysokodemfiryushchikh staley [Features of consumer properties of new high-damping steels]. Stal' — Steel*, 2014, no. 8, pp. 92 – 95.
4. Chudakov I.B. *Novyye promyshlennyye vysokodemfiryushchiye stali [New industrial high-damping steels]. Sbornik trudov IV Vserossiyskoy molodezhnoy shkoly-konferentsii Sovremennyye problemy metallovedeniya [Proceedings of the IV All-Russian youth school-conference Modern problems of metal science]*. Moscow, National Research Technological University MISiS Publ., 2016, pp. 53 – 61.
5. Elagina O.Yu., Vyshegorodtseva G.I., Dubinov Yu.S., Dubinova O.B. The current state of the use materials with shape memory effect in the oil and gas and related industries. *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1347, issue 1, 17 December 2019, art. no. 012020, doi: 10.1088/1742-6596/1347/1/012020.
6. Prygaev A.K., Dubinov Yu.S., Belotserkovskaya Yu.S., Dubinova O.B., Nakonechnaya K.V., Luk'yanova O.A. *Razrabotka energoeffektivnogo diafragmennogo nasosa s diafragmoy iz nikelida titana [Development*

- of an energy efficient diaphragm pump with a nickel titanium diaphragm]. *Khimicheskoye i neftegazovoye mashinostroyeniye — Chemical and Petroleum Engineering*, 2019, no. 2, pp. 40 – 42.
7. Dubinov Yu.S., Dubinova O.B., Elagina O.Yu., Prygaev A.K., Zaharov N.S. Sal'nikovoye uplotneniye s primeneniym materialov s efektom pamyati formy dlya nasosov, ispol'zuyemykh pri perekachke szhizhennogo prirodnogo gaza [Seal with applying of shape memory materials for pumps used for pumping liquefied natural gas]. *Oborudovaniye i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa — Equipment and technologies for the oil and gas industry*, 2020, no. 2(116), pp. 27 – 31.
 8. Shevchenko A.D., Devin L.N., Osadchiy A.A. Osobennosti dempfiroyushchey sposobnosti kompozitsionnogo materiala na osnove nikelida titana [Features of the damping ability of a composite material based on titanium nickelide]. *Sovremennyye problemy yestestvennykh nauk — Modern problems of the natural sciences (Ukraine, V. N. Karazin Kharkiv National University)*, 2014, vol. 1(2), pp. 63 – 68.
 9. Starostina A.V., Prihna T.A., Osadchiy A.A., Karpets M.V., Kovylyayev V.V., Devin L.N., Sverdun V.B., Moshchil' V.Ye., Kozyrev A.V., Kuznetsov R.A. Issledovaniye dempfiroyushchikh svoystv materialov na osnove MAX fazy Ti_3AlC_2 [Research of damping properties of materials based on the MAX phase Ti_3AlC_2]. *Problemy sovremennoy fizicheskogo materialovedeniya - Modern Problems in Physical Materials Science (Ukraine, IPMS NASU of I.M.Fratsevich)*, 2011, no. 20, pp. 73 – 79.
 10. Serdyuk M.I. *Burovoye doloto* [Drill bit]. Patent RF no. 2714164, 2020.
 11. Prygaev A.K., Dubinov Yu.S., Elagina O.Yu., Baitemirov R.L., Dubinova O.B. Dempfiroyushchiye svoystva nikelida titana kak odna iz klyuchevykh osobennostey pri sozdaniy neftegazovogo oborudovaniya [Damping properties of titanium nickelide as one of the key features in the creation of oil and gas equipment]. *Oborudovaniye i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa — Equipment and technologies for the oil and gas industry*, 2020, no. 3(117), pp. 8 – 13.
 12. Kablov Y.N., Kislyakova V.I., Sagomonova V.A. *Kompozitsionnyy vibropoglashchayushchiy material* [Composite vibration-absorbing material]. Patent RF 2572541, 2016.
 13. Astashev V.K., Babitsky V.I., Bykhovskiy I.I. et al. *Vibratsii v tekhnike: Spravochnik. V 6-ti t. T. 6. Zashchita ot vibratsiy i udarov* [Vibrations in Engineering: A Handbook. In 6 volumes. V. 6. Protection against vibrations and shocks]. Moscow, Mashinostroyeniye, 1981, 456 p.

*Статья поступила в редакцию — 29.05.2020 г.
после доработки — 25.06.2020 г.
принята к публикации — 26.06.2020 г.*

Дубинов Юрий Сергеевич — РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина (119991, Москва, Ленинский проспект, 65), кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, специалист в области рационального подбора материалов для нефтегазового оборудования. E-mail: dubinov.y@gubkin.ru; dubinovys@gmail.com.

Елагина Оксана Юрьевна — РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина (119991, Москва, Ленинский проспект, 65), доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, специалист в области сварочных технологий и оборудования, технологий создания износостойких покрытий, материаловедения и трибологии.

Дубинова Ольга Богдановна — РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина (119991, Москва, Ленинский проспект, 65), аспирант, инженер, специалист в области рационального подбора материалов для нефтегазового оборудования.

Буклаков Андрей Геннадьевич — РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина (119991, Москва, Ленинский проспект, 65), кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, специалист в области защитных покрытий и их механо-термического формирования.

Куликова Ирина Сергеевна — РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина (119991, Москва, Ленинский проспект, 65), кандидат технических наук, ассистент, специалист в области проектирования и эксплуатации нефтегазового оборудования.

Influence of vibration parameters on abrasive destruction process during sliding friction

Yu. S. Dubinov, O. Yu. Elagina, O. V. Dubinova, A. G. Buklakov, I. S. Kulikova

This article presents the research results of changes in vibration parameters that occur when sliding a high-hard composite material along a monolithic abrasive, depending on the loading conditions and material fulfillment of the contacting elements. The results of measuring vibration parameters depending on the applied axial load, the relative displacement velocity, and the material of the mandrel holding the carbide element are presented. An assessment of the effort created by vibration in the friction zone, and its effect on the destruction characteristics of the abrasive were carried out. The influence of vibration parameters on the energy distribution between the thermal and mechanical components during friction is shown.

Keywords: vibration, sliding friction, vibration velocity, vibration acceleration, damping materials, abrasive.

Dubinov Yurii — National University of Oil and Gas “Gubkin University” (Leninsky Prospekt, 65, Moscow, Russia) PhD (Eng), associate professor, senior researcher, specialist in the rational selection field of materials for oil and gas equipment. E-mail: dubinov.y@gubkin.ru; dubinovys@gmail.com.

Elagina Oksana — National University of Oil and Gas “Gubkin University” (Leninsky Prospekt, 65, Moscow, Russia), Dr Sci (Eng), professor, head of the department of Tribology and technology of repair gas equipment, specialist in the field of welding technologies and equipment, technologies for creating wear-resistant coatings, materials science and tribology.

Dubinova Olga — National University of Oil and Gas “Gubkin University” (Leninsky Prospekt, 65, Moscow, Russia), graduate student, engineer, specialist in the rational selection field of materials for oil and gas equipment.

Buklakov Andrey — National University of Oil and Gas “Gubkin University” (Leninsky Prospekt, 65, Moscow, Russia) PhD (Eng), associate professor, senior researcher, specialist in the field of protective coatings and their mechano-thermal formation.

Kulikova Irina — National University of Oil and Gas “Gubkin University” (Leninsky Prospekt, 65, Moscow, Russia), PhD (Eng), assistant, specialist in the design and operation of oil and gas equipment.