

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ БУРОВЫХ НАСОСОВ

Исмаилов М.А., Балашов В.Б.

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, Новочеркасск*

Ключевые слова: клапан бурового насоса, повышение износостойкости, ударно-абразивное изнашивание, конструкционная сталь, упруго-диссипативная подложка, демпфирование, энергия удара.

Аннотация. Работа посвящена изучению механизма ударно-абразивного изнашивания деталей клапана бурового насоса. В работе показана возможность повышения ударно-абразивной износостойкости компактных и порошковых материалов за счет демпфирования энергии удара в слоистых 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. Выявлен механизм разрушения поверхности слоистых изделий при ударно-абразивном воздействии. Показано влияние химического и фазового состава абразивных частиц на механизм разрушения поверхности конструкционных и спеченных сталей на начальной стадии испытания и в режиме установившегося режима износа.

METHODS FOR IMPROVING THE OPERATIONAL RELIABILITY OF DRILL PUMPS

Ismailov M.A., Balashov V.B.

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk

Keywords: drill pump valve, increasing wear resistance, impact-abrasive wear, structural steel, elastic-dissipative substrate, damping, impact energy.

Abstract. The work is devoted to studying the mechanism of impact-abrasive wear of valve parts in a drilling pump. The study demonstrates the possibility of increasing the impact-abrasive wear resistance of compact and powdered materials by damping the impact energy in layered 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 the composite material due to the absorption and dissipation of impact energy. The mechanism of surface failure of layered products under impact-abrasive action has been identified. The influence of the chemical and phase composition of abrasive particles on the mechanism of surface destruction of structural and sintered steels is demonstrated at the initial stage of testing and in the steady-state wear mode.

На сегодняшний день нефтегазовую отрасль характеризуется большой номенклатурой современного и технологичного оборудования. К такому оборудованию в том числе относятся буровые насосы, которые применяются при бурении нефтегазовых скважин и их ремонте, геологоразведке и других работах.

При проектировании буровых насосов одним из основных требований является высокая эксплуатационная надежность их узлов и агрегатов. В частности, на эксплуатационную надежность бурового насоса влияют режимы работы клапана, его конструкция, материалы и технология изготовления деталей гидравлического блока и др.

Для повышения долговечности и обеспечения герметичности и безударной посадки в конструкции клапана широко используют уплотнительные элементы различной формы, которые могут быть установлены на тарели и/или седле клапана (рис. 1).

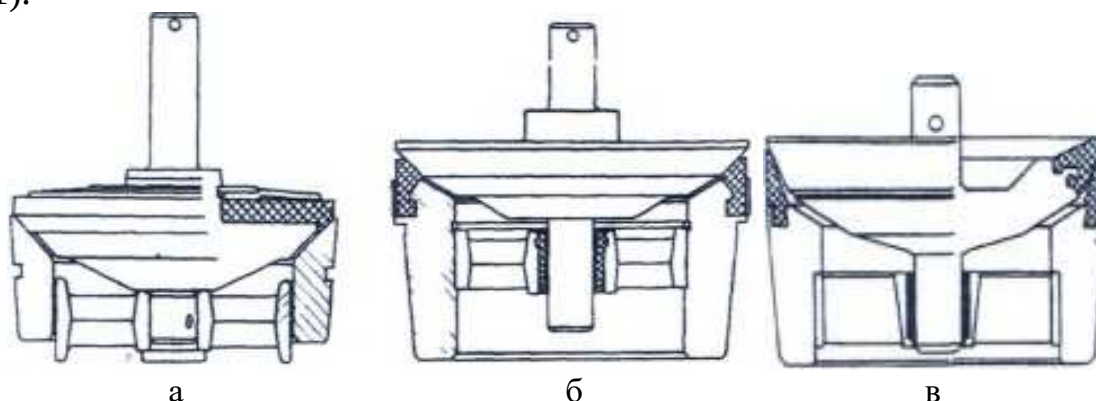


Рис. 1. Варианты исполнения клапана бурового насоса и расположения уплотнительного элемента: а – на тарели; б – на седле; в – на тарели и седле

Анализ работ посвященных изучению условий эксплуатации и проблеме повышения ресурса клапанов буровых насосов [1-7] позволяет сделать вывод, о том, что под воздействием абразивных частиц, попадающих в зазор «уплотнительный элемент – металл» (рис. 2, поз. 4) и «металл – металл» (рис. 2, поз. 3) практически с первых часов работы клапана начинается разрушение этих сопряженных поверхностей. Характер изнашивания поверхностей тарели и седла клапана указывают на преобладание признаков ударно-абразивного износа над другими видами. В последствии при развитии процесс ударно-абразивного изнашивания перетекает в гидроабразивный и в критический момент происходит промыв клапана.

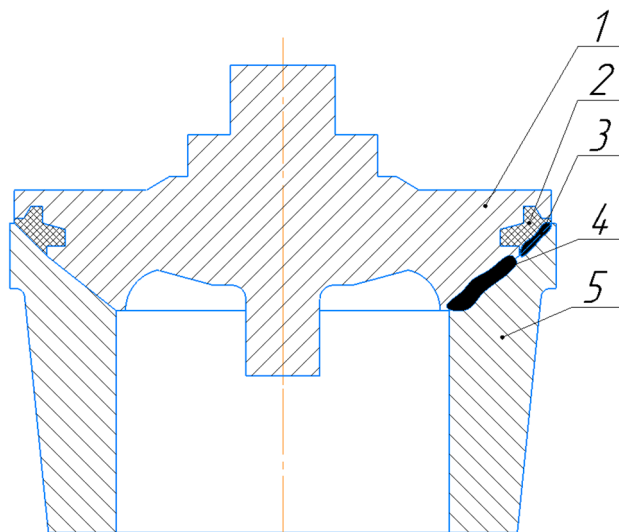


Рис. 2. Клапан бурового насоса: 1 – тарель; 2 – уплотнительный элемент тарели; 3 – зона контакта «резина-металл»; 4 – зона контакта «металл-металл»; 5 – седло клапана

Отличительным признаком ударно-абразивного изнашивания является ударное взаимодействие деталей в присутствии в зоне контакта сопряженных поверхностей абразивных частиц, при котором происходит деформация микрообъемов или их скалывания.

В работах [8, 9] показано, что стойкость конструкционных сталей к ударно-абразивному воздействию определяется оптимальным соотношением твердости и вязкости, которое в основном достигается легированием и термической обработкой улучшаемых сталей.

Множество работ отечественных и зарубежных исследователей посвящены способам повышения механических и эксплуатационных свойств компактных, спеченных, горячедеформированных порошковых и композиционных материалов и деталей из них, которые работают в условиях абразивного и ударно-абразивного изнашивания. Однако, недостаточно изучено влияние эластичных и полимерных слоев на кинетику износа слоистых конструкционных материалов, подверженных ударно-абразивному воздействию. Особый интерес представляет создание слоистых материалов на основе конструкционных сталей с упруго-диссипативными подложками (УДП).

Для исследования влияния демпфирующих характеристик конструкционных сталей с УДП на ударно-абразивное изнашивание, были изготовлены слоистые изделия, состоящие из конструкционной стали 40Х и упругой подложки (рис. 3, а, б). Образцы из стали 40Х (ГОСТ 4543-2016) подвергали термической обработке (закалка при 840°C в масле и низкий отпуск при 200°C; закалка при 840°C в масле и высокий отпуск при 550°C). После термообработки твердость на поверхности образцов составила 48-50 HRC и 33-35 HRC соответственно. Часть образцов без и с УДП изготовлены из спеченной стали П40ХН (рис. 3, в, г).

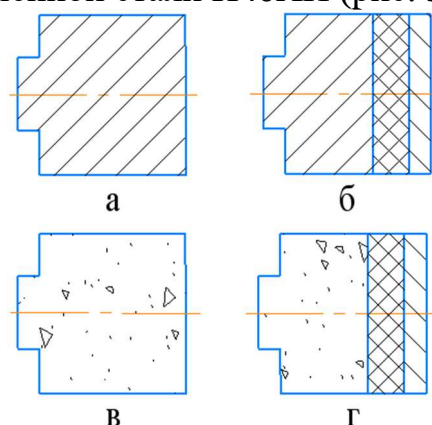


Рис. 3. Образцы из конструкционных и спеченных сталей: а, в – без УДП; б, г – с УДП

Упругую подложку изготавливали из бутылкаучука марки БК–1675Н, которую соединяли с металлической частью слоистых образцов клеем на основе полихлоропренового каучука. Подготовка и испытания на износостойкость при ударно-абразивном изнашивании проводились на специальной установке и по методике, описанной в работе [10].

На рисунке 4 показано влияние продолжительности испытания на интенсивность изнашивания Δm образцов из конструкционной стали 40Х без и с упруго-диссипативной подложкой. Испытуемые образцы испытывали в течении 5000 ударов (n) с взвешиванием каждые 500 ударов. Интенсивность изнашивания образцов из конструкционной стали 40Х после закалки и высокого отпуска (улучшения) возрастает в первые 500 ударов и в дальнейшем стабилизировался на значении 0,058 г (рис. 4, кривая 1). Интенсивность изнашивания у образцов из этой стали с УДП после первых 500 ударов не превышал 0,036-0,037 г (рис. 4, кривая

3), что в 1,5 раза ниже, чем у образцов без УДП. Интенсивность изнашивания у образцов из стали 40X после закалки и низкого отпуска без УДП после 2000 ударов составлял 0,043 г, а с УДП не превышал 0,013 г (рис. 4, кривая 3, 4). Следовательно, применение упруго-диссипативной подложки позволяет снизить интенсивность изнашивания образцов из конструкционной стали 40X 2-3 раза по сравнению с образцами, испытанными без УДП.

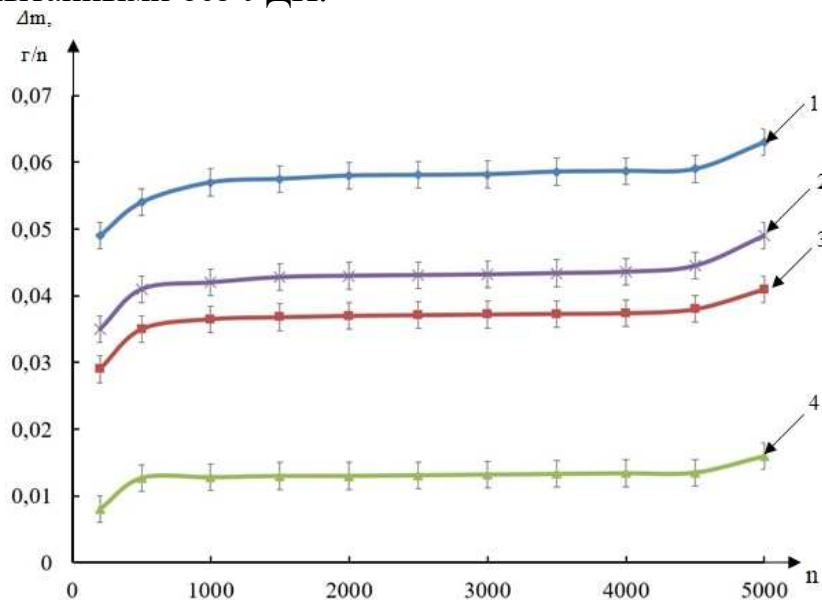


Рис. 4. Влияние режима термообработки и продолжительности испытания (n) на интенсивность изнашивания (Δm) рабочего слоя из стали 40X при ударно-абразивном воздействии: 1 – закалка + ВО без подложки; 2 – закалка + НО без подложки; 3 – закалка + ВО с подложкой; 4 – закалка + НО с подложкой

Исследования показали, что интенсивность и механизм ударно-абразивного изнашивания зависят от химического и фазового состава абразивного порошка. Качественный фазовый анализ абразивного порошка проводили на рентгеновском порошковом дифрактометре ARL X'TRA. Изучение дифракционных спектров, заключающийся в анализе полученных значений интенсивности пиков I (ось ординат, рис. 5) и отраженных углов 2θ (ось абсцисс, рис. 5) выполнялся в автоматическом режиме методом корундовых чисел и при помощи программного комплекса WinXRD 2.0.8. Исследования показали, что используемый абразивный порошок преимущественно состоит из оксидов алюминия Al_2O_3 и кремния SiO_2 , алюминатов магния $MgAl_2O_4$ и кальция $CaAl_2O_4$ (рис. 5). Фазовый состав абразива после испытаний на ударно-абразивную износостойкость практически не изменяется.

После испытания на ударно-абразивное изнашивание на поверхности образцов стали 40X имеются участки с частицами, которые в процессе ударного воздействия внедрились в тело образца образуя лунки и активируя процесс разрушения (рис. 6, а). Частицы алюмината магния $MgAl_2O_4$ (рис. 6, а, поз. 2) из-за меньшей твердости (по шкале Мооса 7,5-8), по сравнению с частицами оксида алюминия (твердость по шкале Мооса 9), при увеличении энергии удара частично внедряются в поверхность образца, а большая их часть разрушается. Частицы алюмината кальция $CaAl_2O_4$ (рис. 6, а, поз. 3) из-за низкой твердости разрушаются на более мелкие частицы и активно заполняют дефекты на контактирующих

поверхностях (рис. 6, б). Химический состав поверхности образцов после проведения испытания в зоне расположения частиц абразивного порошка показан на рис. 6, б – ж.

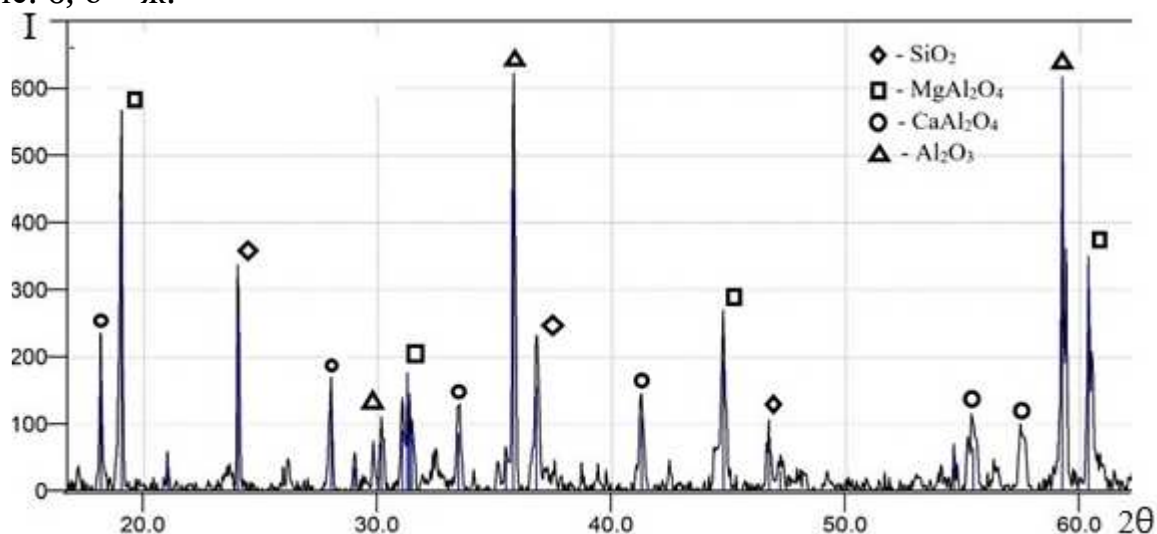


Рис. 5. Фазовый состав абразивного порошка, использованного при испытаниях на ударно-абразивный износ

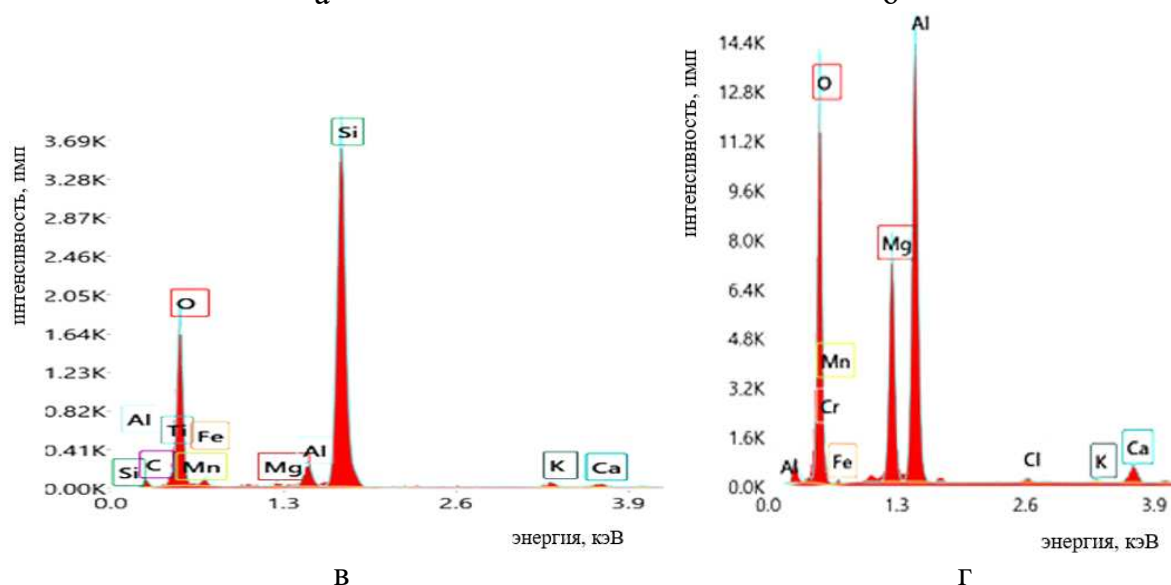
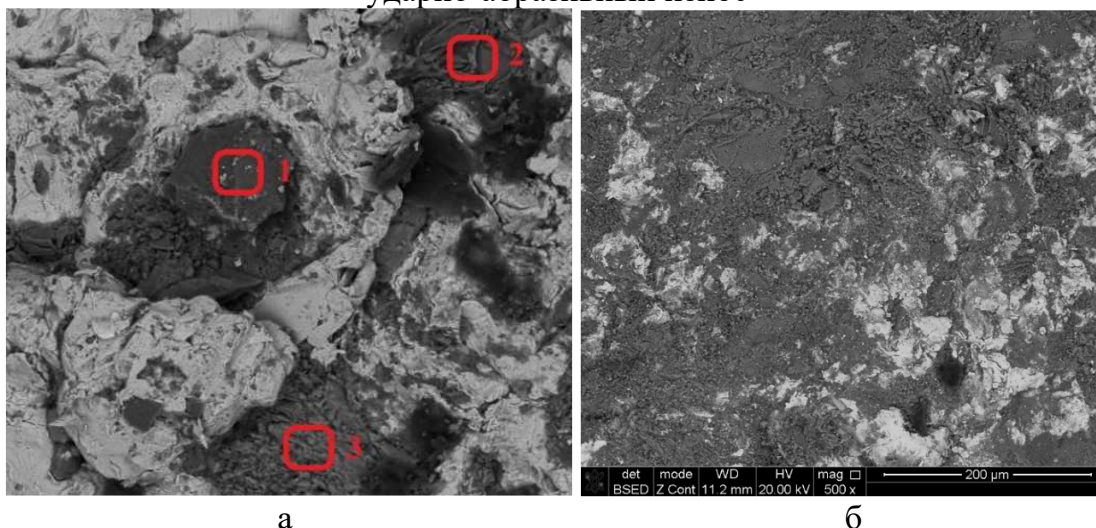
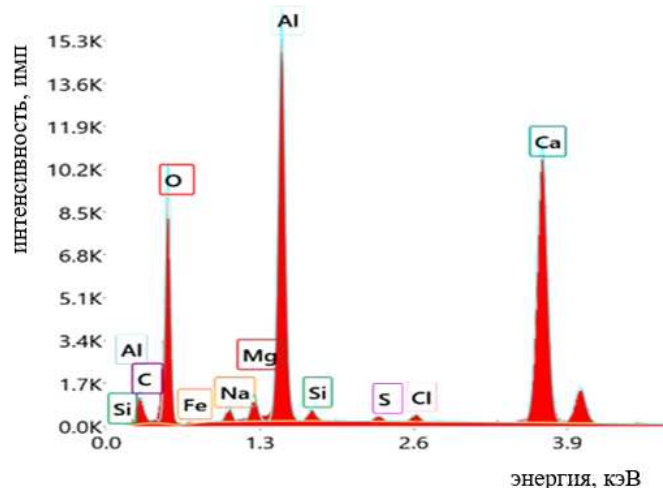


Рис. 6. Микроструктура (а) и распределение компонентов (б) в абразивных частицах на поверхности улучшенной стали 40Х на стадии интенсивного износа: в – оксида кремния; г – алюмината магния



д

Рис. 6. Микроструктура (а) и распределение компонентов в абразивных частицах на поверхности улучшенной стали 40Х на стадии интенсивного износа: д – алюмината кальция

Проведенные исследования позволяют сформулировать следующие **выводы:**

– применение упруго-диссипативных подложек позволяет увеличить износостойкость компактных и порошковых композиционных материалов к ударно-абразивному изнашиванию, за счет поглощения и рассеивания воздействующую на них энергии удара;

– установлено влияние химического состава абразивных частиц на механизм разрушения поверхности слоистых образцов на основе конструкционных и порошковых сталей с УДП на начальной стадии испытания и в режиме установившегося износа.

Список литературы

1. Гасанов Б.Г., Сиротин П.В. Порошковые материалы для деталей, работающих в условиях ударно-абразивного изнашивания // Металлург. – 2011. – №3. – С. 61-64.
2. Абдюкова Р.Я. Анализ причин отказов клапанов буровых насосов // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2014: Сборник трудов международной научно-технической конференции, Октябрьский, 14 марта 2014 года / Уфимский государственный нефтяной технический университет. – Октябрьский: Аркаим, 2014. – С. 51-57.
3. Махкамов К.Х., Алибоев Б.А. Ударно-гидроабразивное изнашивание. Монография. – Ташкент: Фан ва технология, 2012. – 112 с.
4. Абакумов А.В., Гадалов В.Н., Афанасьев А.А., Тураева О.А. Анализ изнашивания и повреждаемости деталей буровых геологоразведочных насосов. // Междисциплинарные подходы в материаловедении и технологии. Теория и практика: сборник трудов Всероссийского совещания заведующих кафедрами материаловедения и технологии материалов. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. – С. 7-15.
5. Быков И.Ю., Цхадая Н.Д. Эксплуатационная надежность и работоспособность нефтегазовых промысловых и буровых машин. Учебное пособие. –М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2010. – 267 с.
6. Бабаев С.Г. Надежность нефтепромышленного оборудования. –М.: Недра, 1987. – 263 с.
7. Гасанов Б.Г., Сиротин П.В., Исмаилов М.А., Харченко Е.В. Анализ условий эксплуатации и изнашивания клапанов буровых насосов // Исследования и инновации в машиностроительном производстве. Сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции, 21-22 октября 2022 г. – Махачкала: ДГТУ, 2022. – С. 57-61.

8. Виноградов В.Н., Сорокин Г.М., Колокольников М.Г. Абразивное изнашивание. – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
9. Гасанов Б.Г., Сиротин П.В. Испытательная установка для исследования ударно-абразивного и ударно-гидроабразивного износа конструкционных и специальных материалов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2010. – Т. 76, №11. – С. 60-63.
10. Сиротин П.В. Структурообразование, свойства и технологии получения легированных порошковых сталей и деталей из них для буровых и цементировочных насосов: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Новочеркасск, 2011. – 177 с.

Сведения об авторах:

Исмаилов Маркиз Азизович – к.т.н., доцент кафедры «Автомобили и транспортно-технологические комплексы»;

Балашов Василий Борисович – старший преподаватель кафедры «Автомобили и транспортно-технологические комплексы».