

## Использование молибденового покрытия в узлах нефтегазовой арматуры

Ю.П. Косогова<sup>1</sup>, Е.Р. Мамонтова<sup>1</sup>, С.А. Томилин<sup>1</sup>, М.В. Погорелов<sup>2</sup>,  
Р.А. Ольховская<sup>1</sup>, Е.С. Арсентьева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Волгодонский инженерно-технический институт –  
филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»;  
<sup>2</sup>АО «Атоммашэкспорт»

**Аннотация:** Использование антифрикционных материалов в подвижных узлах снижает вероятность износа компонентов, повышается надежность, срок эксплуатации деталей и механизмов в целом. В работе рассматривалась эффективность молибденового покрытия в конструкции нефтегазовой арматуры, а именно, осесимметричном обратном клапане и регулирующем клапане. Проведены испытания на прочность, толщину, микротвердость покрытия в реечном механизме нефтегазовой арматуры.

**Ключевые слова:** молибден, подшипник скольжения, реечный механизм нефтегазовой арматуры, параметры покрытия, испытания.

Введение в состав смазочного материала мелкодисперсных твердофазных частиц благоприятно сказывается на увеличении износостойкости пар трения вследствие формирования ориентированных структур в зоне контакта, полирующего действия наночастиц и создания на поверхностях трения многофункциональной пленки, состоящей из агрегатов единичных частиц, с большим числом микроплоскостей, заполненных жидкофазным компонентом смазочного материала [1–3]. Одним из материалов, существенно снижающих коэффициент трения, является молибден (химический символ – Mo). На основе соединений молибдена изготавливают противозадирные высокотемпературные смазочные материалы [4, 5]. Они повышают работоспособность различных аппаратов и защищают поверхности от механического воздействия при высоких температурах. Исключительной особенностью частиц дисульфида молибдена является его способность образовывать очень прочные приповерхностные пленки, в которых атомы серы притягиваются к металлу [6, 7], а молекулярные слои легко скользят относительно друг друга с минимальным коэффициентом трения.

В работе рассматривалась эффективность применения молибденового покрытия в конструкции нефтегазовой арматуры, а именно, осесимметричном обратном клапане и регулирующем клапане. Подвижные сопряжения клапанов, в частности, механизм реечный, подвержены повышенному трению, что отрицательно влияет на эксплуатационные свойства и сокращает срок службы изделий. Молибденовое покрытие наносится однократно и в течение всего срока службы устройств обеспечивает защиту. Из известного большого количества способов нанесения молибденового покрытия [8-10] было выбрано плазменное напыление. Покрытия наносятся на установке «Луч-1» газопламенным способом, а на установке «Луч-2» - микроплазменным способом распыления порошка молибдена. Предварительно поверхность обрабатывается струйно-абразивным методом. Детали, подлежащие покрытию, изготавливаются из стали 12X13 ГОСТ 5632-2014, стали 20X13 ГОСТ 5632-2014 (твердость 217-255 НВ), стали 14X17Н2 ГОСТ 5632-2014 (твердость 293-331НВ). Нанесению подвергаются наружные цилиндрические поверхности диаметром от 30 мм до 120 мм, контур зубчатой рейки по ГОСТ 13755-81 с модулем 1,5-2 мм и поверхности их сопряжения. Все кромки покрываемых поверхностей имеют шероховатость Ra 1,6...6,3 мкм.

Технические параметры получаемого покрытия:

1. Номинальная толщина  $T_n$  покрытия - 0,15...0,3 мм.
2. Допускаемые отклонения толщины покрытия:
  - на цилиндрических поверхностях +30 %  $T_n$ ,
  - на боковых поверхностях профиля впадины зуба от середины высоты зуба до вершины и на площадках вершин зубьев +50%  $T_n$ ,
  - во впадинах зубьев -50%  $T_n$ ,
  - на переходных участках от впадины зуба до середины высоты зуба  $\pm 50\%T_n$ .
3. Микротвердость покрытия по 300-400 НВ.

4. Прочность сцепления (адгезия) не менее 250 кгс/см<sup>2</sup>.

Прочность соединения с основным материалом (адгезия) испытывалась по методике приложения №2 ГОСТ 9.304-87 при аттестации новой партии молибденового порошка. Контроль толщины покрытия материала по профилю зуба выполнялся на образцах-свидетелях без скругления кромки по профилю зуба. Покрытие, образовавшееся на торце образца, удалялось алмазным надфилем, граница между основным материалом и покрытием по профилю просматривается. Толщина покрытия измерялась при помощи измерительной лупы с ценой деления 0,05 мм.

Контроль толщины покрытия на цилиндрической части выполнялся с помощью приспособления. Деталь устанавливалась в центре или в призмы концевыми шейками. Индикатор часового типа настраивался на «0» в зонах без покрытия. Перемещением индикатора вдоль оси детали с периодическим ее поворотом определялась толщина покрытия.

Контроль микротвердости покрытия производился на образце-свидетеле, который покрывался одновременно и по той же технологии, что и штатные детали.

На базе АО «Атоммашэкспорт» г. Волгодонск были проведены испытания на подтверждение работоспособности подшипника скольжения («ЦН-6Л - молибден») для клапанов обратных осесимметричных на условный проход DN 400...600. Результаты представлены на рис.1.

Выяснилось, что без молибденового покрытия перемещение штока с диском (грузом) из положения «открыто» в «закрыто» осуществлялось с заеданиями, усилие перемещения штока составило при 1 цикле 35 кгс. После 5 циклов наблюдалось заклинивание.

При испытании ЦН-6Л (после полировки) по молибдену перемещение штока без диска (груза) за 1 цикл «открыто-закрыто» осуществлялось плавно без заеданий, усилие перемещение штока составило 2 кгс. Перемещение штока с диском (грузом) из положения «открыто» в «закрыто»

---

осуществлялось плавно без заеданий, при этом усилия перемещения равны: при 1 цикле 16-32 кгс; после 10 циклов 18-37 кгс; после 200 циклов 18-37 кгс.

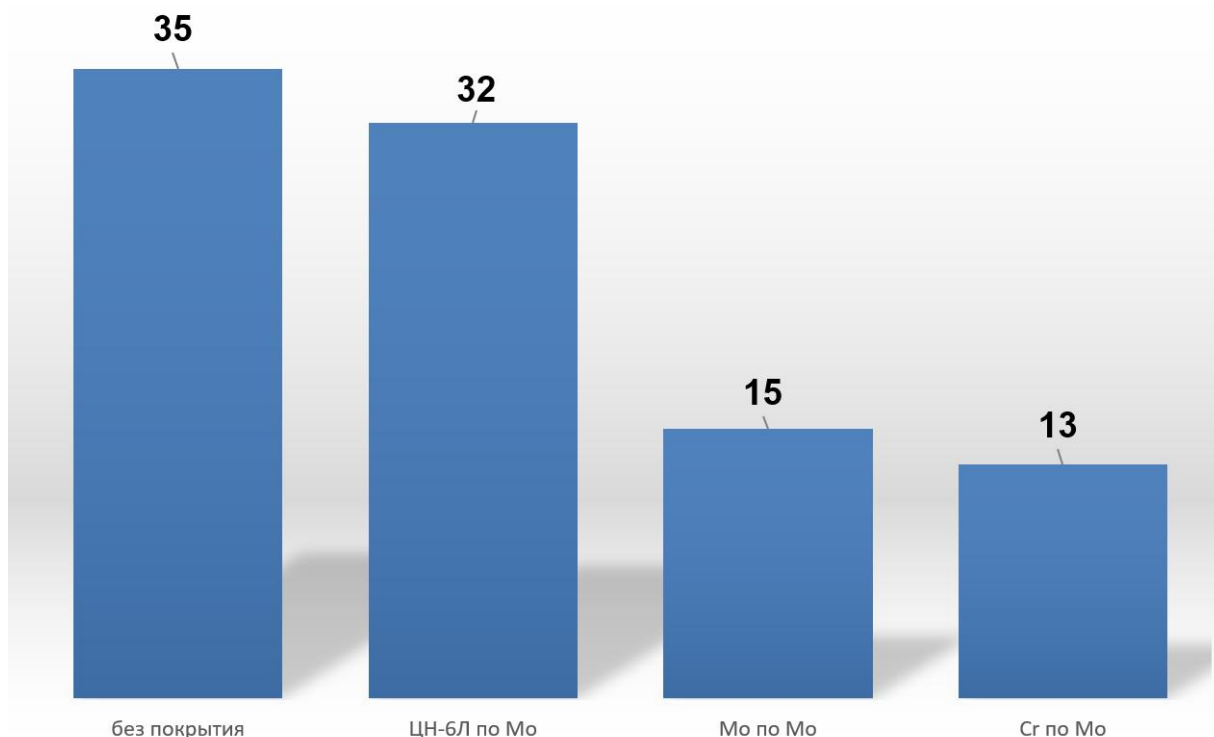


Рис. 1. – Усилия по перемещению штока с диском (грузом) из положения «открыто» в положение «закрыто» в кгс

При трении молибдена (после полировки) по молибдену при нормальной температуре перемещение штока без диска (груза) за 1 цикл «открыто-закрыто» осуществлялось плавно без заеданий, усилие перемещение штока составило 0,02 кгс. Усилия при перемещении штока с диском (грузом) из положения «открыто» в «закрыто» составили: при 1 цикле 11-15 кгс; после 10 циклов 12-19 кгс; после 100 циклов 16-22 кгс; после 200 циклов 22-40 кгс. При повышенной температуре 300 °С: после 10 циклов 20-30 кгс; после 100 циклов 34-55 кгс; после 200 циклов 30-38 кгс.

При испытании кластерного хрома по молибдену при нормальной температуре усилие перемещения штока без диска (груза) за 1 цикл «открыто-закрыто» составило 0,014 кгс. Усилия при перемещении штока с

диском (грузом) из положения «открыто» в «закрыто» составили: при 1 цикле 11-13 кгс; после 10 циклов 12-15 кгс; после 100 циклов 13-16 кгс; после 200 циклов 15-17 кгс. При повышенной температуре 350 °С: после 1 цикла 20-30 кгс, после 2 циклов до 60 кгс.

Таким образом, установлено, что применение покрытия снижает трение в зубчатом зацеплении до 3-5 раз. Это позволяет увеличить ресурс узла, повысить плавность хода и точность регулирования клапана. В процессе исследований была установлена высокая стойкость к агрессивным средам (высокой температуре, наличию щелочных и кислотных примесей в рабочей среде), высокая износостойкость, даже при работе без смазки или в условиях без постоянного возобновления смазки.

### Литература

1. Косогова Ю.П., Бурлакова В.Э. Сравнение триботехнической эффективности смазочных композиций, содержащих наночастицы меди, свинца и палладия // Инженерный вестник Дона. 2016. № 2. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_52\\_Kosogova.pdf\\_f2f0df7ac5.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_52_Kosogova.pdf_f2f0df7ac5.pdf).
2. Косогова Ю.П., Бурлакова В.Э. Сравнение противозносных свойств водно-органических растворов, содержащих наноразмерные частицы свинца и палладия // Инженерный вестник Дона. 2016. № 2. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_51\\_Kosogova.pdf\\_840e4fa42a..](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_51_Kosogova.pdf_840e4fa42a..)
3. Щербаков И.Н. О системном подходе к разработке композиционных антифрикционных покрытий // Инженерный вестник Дона. 2013. № 1. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_86\\_Sherbakov.pdf\\_1567.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_86_Sherbakov.pdf_1567.pdf).
4. Крыхтин Ю.И., Шабалин А.В. Эксплуатационные характеристики дисков трения с покрытием на молибденовой основе // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2001. № 8. С.24-26.
5. Jain V., Patel S., Patel P., Patel K., Shah D. Study of molybdenum trioxide thin film deposited using dip coating method // Materials today:

Proceedings. 2019 recent trends in environment and sustainable development. RTESD. 2019. pp. 1700-1703.

6. Карлов В.И. Разработка заготовок дисков трения с молибденовым покрытием для повышения надежности работы в масле в трансмиссионных узлах машин // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2016. № 8 (187). С. 75-78.

7. Chakraborty S.P., Banerjee S., Sharma I.G., Suri A.K. Development of silicide coating over molybdenum based refractory alloy and its characterization // Journal of nuclear materials. 2010. No. 403. pp.152-159.

8. Терехина Е.В., Бушуева Е.Г., Овдина Д.С. Формирование молибденовых покрытий на стали 12Х18Н9Т методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки // Наука. Технологии. Инновации. Сб. научн. тр. конф. 03–07 декабря 2018 года. Новосибирск. 2018. С. 269-271.

9. Щетковский А.Н., Косило Б.И., Савенков Ю.Н., Асташева А.Ф. А.с. 945254 СССР, МКИЗ С 25 D 3/66. Способ электролитического нанесения молибденовых покрытий. – № 2939836/22–02; заявл. 11.06.80; опубл. 23.07.82. Бюл. № 27. URL: [rusneb.ru/catalog/000224\\_000128\\_0000945254\\_19820723\\_A1\\_SU/](http://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0000945254_19820723_A1_SU/).

10. Лубнин А.Н., Лебедев Р.В., Ладьянов В.И., Пушкарев Б.Е., Файзуллин Р.Р., Балдаев Л.Х., Трещёв С.Ю. Осаждение молибденовых покрытий безводородным методом CVD // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2021. Т.58. № 1. С.61-69.

### References

1. Kosogova Yu.P., Burlakova V.E. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016, №2. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_52\\_Kosogova.pdf\\_f2f0df7ac5.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_52_Kosogova.pdf_f2f0df7ac5.pdf).

2. Kosogova Yu.P., Burlakova V.E. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016, №2. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_51\\_Kosogova.pdf\\_840e4fa42a.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_51_Kosogova.pdf_840e4fa42a.pdf).



3. Shcherbakov I.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №1. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_86\\_Sherbakov.pdf\\_1567.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_86_Sherbakov.pdf_1567.pdf).
4. Krykhtin Yu.I., Shabalin A.V. Traktory i sel'skohozyajstvennyye mashiny, 2001, № 8. pp. 24-26.
5. Jain V., Patel S., Patel P., Patel K., Shah D. Materials today: Proceedings. 2019 recent trends in environment and sustainable development, 2019, pp. 1700-1703.
6. Karlov V.I. Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2016, №8 (187), pp. 75-78.
7. Chakraborty S.P., Banerjee S., Sharma I.G., Suri A.K. Journal of nuclear materials, 2010, No. 403, pp.152-159.
8. Terekhina E.V., Bushueva E.G., Ovdina D.S. Nauka. Tekhnologii. Innovacii, 2018. pp. 269-271.
9. Shchetkovsky A.N., Kosilo B.I., Savenkov Yu.N., Astasheva A.F. Sposob elektroliticheskogo naneseniya molibdenovyh pokrytij [Method of electrolytic application of molybdenum coatings], SU945254A1, 23.07.1982. URL: [rusneb.ru/catalog/000224\\_000128\\_0000945254\\_19820723\\_A1\\_SU/](http://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0000945254_19820723_A1_SU/).
10. Lubnin A.N., Lebedev R.V., Ladyanov V.I., Pushkarev B.E., Faizullin R.R., Baldaev L.Kh., Treshchev S.Yu. Fizikohimiya poverhnosti i zashchita materialov, 2021, Vol.58, № 1, pp.61-69.