

позволяет бензиновым двигателям работать на воспламенении от сжатия. Геометрия камеры сгорания продумана таким образом, что поток, подающийся нагнетателем завихряется по ее стенкам, и, благодаря тому, что имеется система непосредственного впрыска, есть возможность дозировать количество подаваемого топлива. Итак, первая подача топлива готовит смесь 37:1, затем 29:1, происходит резкое воспламенение центра и не менее резкое воспламенение по краям, то есть максимальный тепловой КПД и максимальная отдача от топлива, которое было доставлено в эту камеру сгорания.

#### **Список цитированных источников**

1. Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей : учебник для студентов вузов / под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2007. – 289 с.
2. Воинов, А. Н. Сгорание в быстроходных поршневых двигателях / А. Н. Воинов. – М. : Машиностроение, 1977. – 277 с.
3. Автомобили ВАЗ. Двигатели и их системы. Технология технического обслуживания и ремонта / В. Л. Смирнов [и др.]– Н. Новгород: АТИС, 2002. – 83 с.

УДК 620.197.7

*Грибовская М. С.*

*Научный руководитель: к. т. н., доцент Голуб В. М.*

## **АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ**

Целью исследований является: изучение закономерностей фрикционного поведения материалов колец пар трения и на их основе повышение износостойкости и герметичности торцовых уплотнений.

Материалы, из которых изготавливаются, например, контактные кольца пар трения, должны обеспечивать, как правило, низкие значения потерь энергии на трение и высокую износостойкость в уплотняемых средах. Удовлетворение указанных требований оказывает решающее влияние на надежность и долговечность торцового уплотнения [1, 2].

Процессы взаимодействия колец торцовой пары трения при эксплуатации уплотнений происходят в самых тонких слоях разделительной пленки смазки и контактирующих поверхностей. От качества этих поверхностей их шероховатости, твердости, фрикционных показателей, химической стойкости и жесткости во многом зависит износостойкость пары трения и в целом торцового уплотнения.

Вместе с тем, объемные свойства материалов не всегда удовлетворяют тем требованиям, которые предъявляются к его поверхностным характеристикам. Последние достигаются применением различных технологических методов, позволяющих создать на поверхности контакта износостойкие слои, обладающие необходимым комплексом триботехнических свойств [3, 4, 5, 6].

Развитие технологических методов упрочнения поверхностей деталей машин, связанное с успехами в развитии фундаментальных научных исследований, привело к созданию нового вида технологии, а именно упрочняющей технологии или инженерии поверхностей [7, 8, 9, 10], основной задачей которой

является получение поверхностных слоев с достаточной прочностью и твердостью, износной и коррозионной стойкостью, а также другими высокими эксплуатационными показателями.

Различные методы повышения износостойкости деталей машин рассмотрены в работах М. А. Балтера [11], М. А. Елизаветина, Э. А. Сателя [12], Б. И. Костецкого [13], В. Н. Ткачева [14], И. В. Крагельского [2], Д. Н. Гаркунова [15], В. Домбровского [16] и других.

Разнообразие существующих методов и технологий поверхностного упрочнения, способствующих повышению износостойкости трущихся деталей узлов трения машин, можно разделить на механические, термические, химико-термические, наплавки и напыления, пропитки.

Механические методы упрочнения связаны с пластическим деформированием поверхностного слоя металла. Наиболее распространенными являются: поверхностный наклеп, алмазное выглаживание, накатка [11, 17].

Изменить качество поверхности колец пары трения, повысить ее твердость и износостойкость позволяют методы термической и химико-термической обработки. При термической обработке изменение свойств металла достигается объемной или поверхностной закалкой. Нагрев может осуществляться различными способами (нагрев в печи, ТВЧ и др.).

При химико-термической обработке [18] повышение износостойкости сталей достигается путем диффузионного насыщения поверхностей различными элементами или модифицирования их соединениями химически активных элементов с использованием химических реакций [19].

Наиболее широко применяющимися видами химико-термической обработки являются: цементация, азотирование, цианирование и диффузионная металлизация. Наибольший эффект в снижении коэффициента трения, повышения нагрузки заедания и износостойкости достигается при диффузионном насыщении поверхностных слоев бором, хромом, кремнием и др. элементами [20, 21].

Для упрочнения и нанесения защитных покрытий весьма перспективными являются электрофизические методы обработки материалов, основанные на использовании концентрированных потоков энергии, таких как низкотемпературная плазма, импульсные разряды, лазерные лучи [22, 23, 24].

Большую группу технологических методов упрочнения представляют методы наплавки и напыления. Эти способы позволяют применять обыкновенные углеродистые стали, уменьшить их расход, упростить некоторые конструкционные решения. При наплавке происходит сплавление рабочего слоя с основным металлом, что обеспечивает хорошее их сцепление. Различают газовую, электродуговую, электрошлаковую, виброуговую, наплавку трением и другие виды наплавки [9].

Напыление материалов, в зависимости от источника тепла, производят газовым, электрическим (токи высокой частоты) и плазменным методами. Широко используются самофлюсующиеся твердосплавные порошки [8, 24, 25].

Значительная группа поверхностного упрочнения относится к плазменным, детонационно-газовым [26, 27] и электрохимическим методам нанесения композиционных покрытий [28, 29].

При разработке торцовых уплотнений важное значение имеет не только выбор материалов колец, но и их сочетание в паре трения. Наиболее благоприят-

ными средами для работы торцового уплотнения являются масла и среды с хорошей смазочной способностью без механических примесей. Обычно в этих случаях хорошо работают пары трения, одно из колец которых, обычно вращающееся, изготовлено из углеродистых сталей 45, 50, хромистых и хромоникелевых сталей 40Х, 40ХН, ШХ15, 16ХГТА, нержавеющей сталей аустенитного класса 08Х18Н10, 12Х18Н9Т, мартенситного класса, 20Х13, 30Х13 и других с термообработкой контактных поверхностей или с наплавкой контактного слоя сормайтотом, стеллитом, газопламенным напылением и другими сплавами. Второе, невращающееся кольцо, обычно выполняется из мягких материалов. Это, как правило, углеграфитовые материалы с пропиткой смолами, баббитом, оловяносвинцовыми сплавами, медью. К ним относятся углеграфиты марок 2П-1000-Ф, АО-1500, АО-1500-Б83, АГ-1500, АГ-1500-С05 и другие.

Широко используются в качестве материала невращающегося контактного кольца бронзы марок Бр. ОЦС-5-5-5, Бр. ОЦС-6-6-3, Бр. АЖМц10-3-1,5, Бр. ОС-25, Бр. ОФ10-1 [30]. Часто используют пару трения бронза по чугуно жаростойкому высоконикелевому зеркальному или серому [30, 31].

В уплотнении жидкостей без механических примесей с малой вязкостью и низкой температурой кипения, таких как дизельное топливо, керосин, бензин, лигроин, к материалам пар трения предъявляются повышенные требования. Следует отметить, что пары трения сталь с термообработанной поверхностью по бронзе работают неудовлетворительно. Режим близкий к сухому трению наступает в паре трения при плохом отводе фрикционного тепла, когда давление жидкости в камере уплотнения близко к давлению упругости паров и жидкость на контакте начинает испаряться [32].

Рекомендуются, в этом случае, пары трения, одно кольцо которых изготовлено из твердых сплавов или керамики, а другое – из углеграфитовых материалов или материалов на основе полимеров [31, 33, 34].

Для условий, когда на контакте пары трения имеется дефицит смазки, невращающееся контактное кольцо рекомендуют применять из фторопласта-4 или пластмассы. Однако необходимо учитывать, что эти материалы имеют низкую теплопроводность, обладают текучестью и деформируются при нагрузках более 0,5 МПа. Высокой твердостью обладает минералокерамика, изготавливаемая из силикатных и алюмосиликатных материалов с большим содержанием окислов алюминия и кремния, а также металлокерамика на основе карбида вольфрама и титана. Примером первых могут служить минералокерамика ЦМ-332 на основе  $Al_2O_3$  стеатиты ТК-21, С-2, СК-1, СКМ-1 на основе  $Al_2O_3$  MgO. Твердые металлокерамические материалы получают методами порошковой металлургии, т. е. прессованием порошков с последующим их спеканием. Литой карбид вольфрама ( $WC+W_2C$ ), а также сплавы, содержащие карбиды вольфрама, титана и кобальт, марок ВК-6, ВК-8, Т15К6 и другие, обладают высокой твердостью до 90 HRA [35].

К недостаткам минерало- и металлокерамики следует отнести низкую теплопроводность. При трении они подвержены терморастрескиванию.

Высокая твердость материала затрудняет их механическую обработку при изготовлении контактных колец. Перспективным в качестве материала колец пар трения является силицированный углеграфит, получаемый пропиткой исходного графита, по всему объему, жидким кремнием в вакууме при температуре выше

2000 °С. При этом происходит реакция с образованием карбида кремния [36]. Однако, по условиям химической реакции, не весь кремний входит в соединение с углеродом, в связи с чем ограничивается его химическая стойкость.

Одним из недостатков антифрикционных материалов на основе углерода является низкая ударная вязкость. Это ограничивает его применение при ударных нагрузках и незначительной деформации (1–2 %) [37].

В настоящее время нашли применение при изготовлении контактных колец пар трения торцовых уплотнений валов нефтяных насосов методы напекания износостойкого слоя из разнозернистых порошков карбида вольфрама с медьсодержащей связкой на контактные поверхности стальной заготовки. Это позволяет получать биметаллическую деталь, легко поддающуюся механической обработке [38, 39]. Износостойкий слой "ТМ" толщиной в 2–3 мм обладает высокой объемной твердостью (70–72 НРА), низким коэффициентом трения (0,03–0,06), хорошим теплоотводом.

До настоящего времени в Беларуси не было специализированного предприятия по выпуску торцовых уплотнений, за исключением предприятия Гомельтранснефть "Дружба", где налажен выпуск торцовых уплотнений для нефтяных насосов магистральных трубопроводов. Но в 2001 году по лицензии № 64 открыт завод торцовых уплотнений в Могилеве с номенклатурой выпуска узлов уплотнений для предприятий Белнефтехима, что говорит о значимости работ в области уплотнительной техники для Республики Беларусь. В теплоэнергетике, водоснабжении (горячем и холодном) уплотнения валов выполняются из мягкой сальниковой набивки и требуются усилия исследовательских коллективов, по созданию экономичных, надежных и долговечных торцовых уплотнений на конкретные условия их эксплуатации.

#### **Список цитированных источников**

1. Трение изнашивания и смазки. Справочник: в 2-х кн. / Под. ред. И. В. Крагельского, В. В. Алисина. – М. : Машиностроение, 1979.
2. Крагельский, И. В. Трение и износ /И. В. Крагельский. – 2-ое изд. –М. : Машиностроение, 1968. – 480 с.
3. Гаркунов, Д. Н. Триботехника. Пособие для конструктора: учебник для студентов втузов / Д. Н. Гаркунов: – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1999. – 336 с.
4. Семенов, А. П. О перспективе применения в машиностроении вакуумных ионно-плазменных и газотермических покрытий / А. П. Семенов, Н. А. Воронин // Вестник машиностроения. – 1982. – № 1. С. 42–44. –
5. Пинчук, Л. С. Герметология /Л. С. Пинчук. – Минск.: Навука і Тэхніка, 1992. – 216 с.
6. Справочник по триботехнике. В 3-х томах. / под. ред. М. Хебды и А. В. Чичинадзе. – М. : Машиностроение, 1992. – 730 с.
7. Дорожкин, Н. Н. Упрочнение и восстановление деталей машин металлическими порошками / Н. Н. Дорожкин. – Минск.: Наука и техника, 1975. – 152 с.
8. Воронин, Л. Г. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО – / Л. Г. Воронин, Ф. И. Авнтелеенко, В. М. Константинов – Минск: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 1999. – 133 с.
9. Ивашко, В. С. Электротермическая технология нанесения защитных покрытий / В. С. Ивашко, И. Л. Куприянов, А. И. Шевцов. – Минск. : Навука і Тэхніка, 1996. – 375 с.
10. Поляк, М. С. Технология упрочнения: в 2-х т. / М. : М. С. Поляк. – Л. В. М., Машиностроение: 1995.
11. Балтер, М. А. Упрочнение деталей машин / М. А. Балтер. – М. : Машиностроение, 1968. – 196 с.
12. Елизаветин, М. А. Технологические способы повышения долговечности машин / М. А. Елизаветин, Э. А. Сатель. – М. : Машиностроение, 1969. – 399 с.

13. Надежность и долговечность машин / Б. И. Костецкий [и др.]. – Киев: Техніка, 1975. – 408 с.
14. Ткачев, В. Н. Методы повышения долговечности деталей машин / В. Н. Ткачев. – М. : Машиностроение, 1971. – 272 с.
15. Гаркунов, Д. Н. Триботехника. Учебник для студентов вузов / Д. Н. Гаркунов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1989. – 328 с.
16. Домбровский, В. И. Исследование и обоснование эффективности методов упрочняющей технологии в машинах сельскохозяйственного производства: дис. учен. степ. канд. техн. наук / В. И. Домбровский. – Киев, 1977. – 195 с.
17. Елизаветин, М. А. Повышение надежности машин / М. А. Елизаветин. – 2-е изд. перераб. – М. : Машиностроение, 1973. – 430 с.
18. Материаловедение / Под ред. Б. Н. Арзамасова. – М. : Машиностроение, 1986. – 384 с.
19. Лахтин, Ю. М. Химико-термическая обработка металлов / Ю. М. Лахтин, Б. Н. Арзамасов – М. : Металлургия, 1985. – 252 с.
20. Прогрессивные методы химико-термической обработки / Под ред. Г. Н. Дубинина и Я. Д. Когана – М. : Машиностроение, 1979. – 232 с.
21. Земсков, Г. В. Многокомпонентное диффузионное насыщение металлов и сплавов / Г. В. Земсков, Я. Д. Коган. – М. : Металлургия, 1969. – 399 с.
22. Ивашко, В. С. Упрочнение рабочих поверхностей деталей машин самофлюсующимися твердыми сплавами повышенной грануляции: дис. учен. степ. канд. техн. наук / В. С. Ивашко. – Минск : 1979. – 195 с.
23. Электроискровое легирование металлических поверхностей / А. Е. Гиглевич, В. В. Михайлов, Н. Я. Парканский; под ред. Ю. Н. Петрова. – Кишинев: ШТИИИЦА, 1985. – 196 с.
24. Спиридонов, Н. В. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин / Н. В. Спиридонов, О. С. Кобяков, И. Л. Куприянов; под ред. В. Н. Чачина. – Минск : Вышэйшая школа, 1988. – 155 с.
25. Роман, О. В. Справочник по порошковой металлургии: порошки, материалы, процессы / О. В. Роман, И. П. Габриелов. – Минск. : Навука і тэхніка, 1988. – 175 с.
26. Барестнев С. С. Детонационные покрытия в машиностроении. – М.: Машиностроение / С. С. Барестнев, Ю. П. Федько, А. И. Григоров. – 1982. – 215 с.
27. Костиков, В. М. Плазменные покрытия / В. М. Костиков, Ю. А. Шестерин. – М. : Металлургия, 1978. – 159 с.
28. Бородин, И. Н. Упрочнение деталей композиционными покрытиями / И. Н. Бородин – М. : Машиностроение, 1982. – 141 с.
29. Сайфулин, Р. С. Композиционные покрытия и материалы / Р. С. Сайфулин – М. : Химия, 1977. – 272 с.
30. Голубев, А. И. Торцовые уплотнения вращающихся валов / А. И. Голубев – М. : Машиностроение, 1974. – 230 с.
31. Контактные уплотнения вращающихся валов / Г. А. Голубев [и др.] – М. : Машиностроение, 1976. – 264 с.
32. Голуб, М. В. Испытания пар трения торцовых уплотнений в бензине и дизельном топливе / М. В. Голуб // РНТС. Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. – ВНИИОЭНГ, 1972. – № 4. – С. 16–19.
33. Ковтун, В. А. Триботехнические покрытия на основе порошковых меднографитовых систем / В. А. Ковтун, Ю. М. Плескачевский; / под научн. ред. П. А. Витязя. – Гомель, ИММС НАНБ, 1998. – 148 с.
34. Трение и износ материала на основе полимеров / В. А. Белый [и др.]. – Минск. : Навука і тэхніка, 1976. – 480 с.
35. Металлокерамические твердые сплавы. / Н. И. Романов, [и др.] – М. : Металлургия, 1970. – 352 с.
36. Тарабанов, А. С. Силицированный графит / А. С. Тарабанов, В. Н. Костиков. – М. : Металлургия, 1977. – 208 с.
37. Уплотнения и уплотнительная техника. Справочник. / Л. А. Кондаков [и др.]; под общ. ред. А. И. Голубева, Л. А. Кондакова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1994. – 448 с.
38. Голуб, М. В. Твердосплавные износостойкие материалы для торцовых уплотнений валов центробежных насосов / М. В. Голуб // Повышение износостойкости на основе избирательного переноса. – М. : Машиностроение, 1977. – С. 113–118.

39. Голуб, М. В. Износостойкие композиционные материалы на основе карбида вольфрама, меди и никеля / М. В. Голуб // Долговечность трущихся деталей машин. – М. : Машиностроение, 1985. – Вып. 1. –С. 217–234.

УДК 621.355

**Василюк Е. В., Заречный Я. О.**

**Научный руководитель: к. т. н., доцент Ярошевич А.В.**

## **УНИВЕРСАЛЬНОЕ ЗАРЯДНОЕ УСТРОЙСТВО НА БАЗЕ КОНТРОЛЛЕРА**

В ходе проведения лабораторных работ по курсу теоретических основ электротехники возникла проблема зарядки используемых в лабораторном стенде батарей, а именно батарейки крона Ni-Cd 1,2 В. Решением проблемы выбрано создание универсального зарядного устройства, которое могло бы самостоятельно оценивать остаточный заряд батареи, выбирать нужный режим зарядки или разрядки, также исключить эффект памяти и, в случае необходимости, проводить “тренировку” батареи.

Универсальное зарядное устройство должно выполнять следующие основные функции.

### 1. Зарядка.

Режим позволяет зарядить элемент питания токами в 100 мА–3000 мА. Зарядка обычно определяется как зарядка током 0,1 С, быстрая зарядка — током порядка 0,3С, ускоренная зарядка — током 0,5-1,0 С.

К быстрой зарядке можно отнести любую зарядку током большим 0,1 С. Принципиальным отличием капельной и быстрой зарядки является то, что при быстрой зарядке зарядное устройство должно автоматически заканчивать процесс, пользуясь определёнными критериями. При капельной зарядке окончание процесса можно не детектировать, а аккумулятор может находиться в состоянии капельной зарядки сколь угодно долго.

### 2. Разрядка.

Этот режим необходимо использовать, если планируется длительное (более 2 недель) хранение аккумуляторов. Разряженные элементы питания хранятся, практически не теряя ёмкость. В настоящий момент под эффектом памяти понимается обратимая потеря ёмкости, имеющая место в некоторых типах электрических аккумуляторов при нарушении рекомендованного режима зарядки, в частности, при подзарядке не полностью разрядившегося аккумулятора.

### 3. Восстановление.

Режим используется для восстановления ёмкости старых аккумуляторов, которые давно не использовались и держат свой заряд слабо, не так как должны. Процесс заключается в множестве циклов разрядки/зарядки, которые призваны выжать из старых аккумуляторов всю возможную мощь. Циклы будут повторяться до тех пор, пока ёмкость аккумуляторов не перестанет увеличиваться. Токи зарядки/разрядки соответствуют описанным в пункте «разрядка» и справедливы для режима «восстановление».

Критерием остановки заряда могут служить напряжение на аккумуляторе или время импульса тока (*Тимп*), за которое напряжение на аккумуляторе достигает конечного зарядного напряжения. Измерение напряжения на аккумуляторе необходимо производить через некоторое время после завершения зарядного импульса. Этот критерий окончания заряда при фазе импульсного тока Li-