

Л. П. Клименко, П. Я. Ревнюк, О. Ф. Прищепов, В. И. Андреев, С. Н. Соловьёв

УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ МЕТОДАМИ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ И ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Рассмотрены результаты экспериментальных исследований по применению лазерных и ионно-плазменных технологий для упрочнения деталей форсунок и поршневых колец двигателей внутреннего сгорания. Комбинированное упрочнение деталей форсунок двигателей внутреннего сгорания (лазерная обработка каналов распылителя форсунки и ионно-плазменное напыление конуса иглы) обеспечило повышение их срока службы с 3 600 до 8 000 часов. Результаты проведённых исследований дают возможность рекомендовать процессы ионно-плазменного упрочнения для обработки поршневых колец среднеоборотных дизелей. Совместный износ пар с молибденовым покрытием в 2,2-2,5 раза меньше, чем у пар, где поршневое кольцо хромированное. Совместный износ пар с лазерным упрочнением в 1,6-1,8 раза меньше, чем у пар, где поршневое кольцо хромированное. По оценкам авторов, для первого компрессионного кольца лучше использовать ионно-плазменное покрытие, а для всех остальных – обработку лазером.

Введение

Для решения задач, связанных с повышением ресурса и надёжности деталей и узлов авто-тракторных и судовых двигателей внутреннего сгорания, в последнее время начали использовать высокоэнергетические способы обработки материалов, такие как лазерное термоупрочнение и ионно-плазменное напыление, а также комбинированное упрочнение.

На современном этапе развития общества прогресс в двигателестроении связан с применением новых труднообрабатываемых жаростойких, коррозионностойких и износостойких сталей и сплавов. Однако и эти материалы не всегда удовлетворяют требования, которые выдвигаются в связи с возрастающими нагрузками, расширением диапазона рабочих температур, влиянием вредных факторов окружающей среды. Эффективным способом повышения долговечности деталей ДВС в условиях циклических нагрузок, контактной усталости и износа является создание на их поверхности прочных износостойких слоёв. Например, для деталей топливной аппаратуры с целью повышения их эксплуатационных характеристик наиболее широкое применение нашли способы поверхностной закалки, химико-термические методы (цементация, азотирование и др.). Однако возможности этих методов в значительной мере уже исчерпаны.

Постановка задачи

Применение в двигателестроении в последние годы электрофизических методов упрочнения значительно повысило ресурс некоторых деталей двигателей внутреннего сгорания.

Так, например, лазерное упрочнение поверхностей позволяет выборочно изменить свойства различных участков деталей, в результате чего получают более износостойкие поверхности без изменения шероховатости. Однако при обработке прецизионных пар незначительное увеличение зер-

на в металле приводит к ограничению применения этого метода.

Нанесение ионно-вакуумных покрытий на основе тугоплавких металлов (TiN, TiC и др.) значительно увеличивает поверхностную твёрдость деталей. Применение этих покрытий в прецизионных парах сдерживается из-за увеличения размеров на 2-4 мкм, в связи с чем для обработки деталей дизельных форсунок необходимо подобрать такие схемы и режимы обработки, которые смогли бы повысить износостойкость и не изменить геометрические параметры сопрягаемой пары.

Целью проведения лабораторно-промышленных исследований являлось:

1) выявление характера износа в паре трения топливной системы «игла – корпус форсунки», а также разработка технологии комбинированного поверхностного упрочнения этих деталей, что позволило бы повысить ресурс и надёжность работы форсунки;

2) разработка технологий лазерного упрочнения поршневых колец и нанесения на них покрытий ионно-плазменным напылением.

Результаты исследований

Исследования лазерного упрочнения распылителя форсунки двигателя внутреннего сгорания

Исследования проводились на форсунках дизелей VDS 24/24 AL-1 (1000 об/мин, N = 900 кВт) и VDS 48/42 AL-2 (750 об/мин, N = 2300 кВт).

Исследования лазерного упрочнения распылителя форсунки проводились на импульсном лазере с диапазоном регулирования энергии $E = 10-80$ Дж, длительностью импульса 2-10 мс. Диаметр лазерного «пятна» и фокусное расстояние были специально адаптированы к данной конструкции распылителей.

Материал распылителя имел следующий химический состав, мас. % (табл. 1).

Таблица 1. Химический состав материала исследуемого распылителя форсунки двигателя

Содержание компонентов, мас. %						
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Fe
0,12-0,17	0,17-0,37	0,25-0,55	1,35-1,65	4,00-4,40	0,30-0,40	Остальное

Игла распылителя форсунки была изготовлена из материала P18, который имел следующий химический состав, мас. % (табл. 2).

Таблица 2. Химический состав материала иглы распылителя форсунки двигателя

Содержание компонентов, мас. %				
C	Cr	W	V	Fe
0,72-0,83	3,80-4,40	17,0-18,5	1,00-1,40	Остальное

Начальная обработка осуществлялась при температуре 920-980°C на глубину 0,6-0,7 мкм. Поверхностная твердость материала составляла HRC 57.

После импульсной лазерной обработки каналов распылителя форсунки микротвердость упрочнённого слоя увеличилась до $H_{\mu} = 800-840$ МПа, глубина упрочнённого слоя составляла 0,07-0,09 мм.

Для повышения износостойкости конуса иглы на его поверхность наносилось покрытие на основе TiN толщиной 3-5 мкм с помощью установки «Булат 3Т». Начальная термическая обработка давала твердость не менее HRC 60.

Микротвердость покрытия составляла не менее $H_{\mu} = 2400$ МПа.

Оценку свойств покрытий выполняли по величине микротвердости, измеренной в пересечении косоугольного шлифа при нагрузке на индентор 1Н. Дополнительную информацию о микроструктуре слоя и состоянии поверхности получали с помощью оптического микроскопа «Неофот-21» и электронного микроскопа Stereoscan.

Испытания износостойкости упрочнённых образцов проводились на машине трения СМЦ-2 и на работающем двигателе в лабораторных условиях.

Рассмотренное комбинированное упрочнение дизельных форсунок обеспечило повышение их срока службы с 3 600 до 8 000 часов.

Трудоёмкость технологических операций составила 5-10 % от трудоёмкости изготовления форсунки.

Используемые в работе технологические процессы могут быть применены для получения плун-

жерных пар деталей топливной аппаратуры, а также деталей газораспределительных механизмов.

Лазерное упрочнение поршневых колец из высокопрочного чугуна

Ионно-плазменное и лазерное упрочнение поверхностей применялись также для обработки поршневых колец из высокопрочного чугуна ВЧ 50-1,5 для дизеля 6ЧН 25/34.

Молибденирование – известный способ повышения износостойкости трущихся поверхностей. Поэтому в качестве материала, который наносили напылением на установке «Булат-3Т», был выбран именно молибден.

Перед напылением кольца проходили очистку в ультразвуковой ванне и в тлеющем разряде. После вакуумирования камера установки заполнялась азотом, покрытие нитридом молибдена проводилось в течение 1,5-2 часа. Толщина полученного слоя составляла 7-10 мкм, микротвердость $H_{\mu} = 2200-2500$ МПа. Для снятия внутренних напряжений, после напыления детали медленно охлаждались вместе с камерой.

Лазерная обработка поршневых колец осуществлялась пучком излучения круглой формы. Источником упрочнения служило лазерное стекло с неодимом. Размеры пучка регулировались. Перед обработкой кольца обезжиривались, при наличии ржавчины она удалялась, кроме того, поверхности колец не должны иметь вмятин, заусенцев, забоин и других повреждений. Обработка поршневых колец производилась на вращающемся устройстве. Для отработки режимов использовались образцы-свидетели, на них замерялись глубина обработки и микротвердость. По результатам замеров производилась корректировка режимов. Лазерная обработка осуществлялась в течение 20-30 минут, при этом была достигнута толщина слоя 80-100 мкм, микротвердость $H_{\mu} = 1\ 200$ МПа.

Сравнительные износостойкие испытания проводились на образцах поршневых колец:

- имеющих ионно-плазменное напыление нитридом титана;
- имеющих хромовое покрытие по технологии завода «Первомайскдизельмаш»;
- упрочнённых лазером (молибденирование).

Испытания проводились на машине трения СМЦ-2 по схеме «колодка-ролик». Колодка изготавливалась из материала втулки (комплекснолегированный чугун), а ролик – из материала поршневого кольца ВЧ 50-1,5, упрочнённого соответствующим образом. Количество циклов – 500 000. Нагрузка на колодку устанавливалась равной нагрузке на первое компрессионное кольцо дизеля ЧН 25/34, температура масла, подаваемого на тру-

щиеся поверхности, поддерживалась в диапазоне 90-110°C.

Проведенные испытания показали, что:

- наибольший износ присутствует у хромированных образцов поршневых колец;
- наименьший износ характерен для образцов поршневых колец с молибденовым покрытием.

Совместный износ пар с молибденовым покрытием в 2,2-2,5 раза меньше, чем у пар, где поршневое кольцо хромированное.

Совместный износ пар с лазерным упрочнением в 1,6-1,8 раза меньше, чем у пар, где поршневое кольцо хромированное.

Выводы

1. Комбинированное упрочнение деталей форсунок ДВС (лазерная обработка каналов распылителя форсунки и ионно-плазменное напыление конуса иглы) обеспечило повышение их ресурса.

2. Результаты проведенных исследований дают возможность рекомендовать процессы ионно-

плазменного упрочнения для обработки поршневых колец среднеоборотных дизелей, причём, по оценкам авторов, для первого компрессионного кольца лучше использовать ионно-плазменное покрытие, а для всех остальных – обработку лазером.

Список литературы:

1. Бруннер В. Справочник по лазерной технике / В. Бруннер. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 544 с. 2. Веденов А.А. Физические процессы при лазерной обработке материалов / А.А. Веденов, Г.Г. Гладуш М.: Энергоатомиздат, 1985. – 208 с. 3. X-Ray diffraction data cards. – Committee of chemical analysis by X-Ray diffraction methods. – Philadelphia: ASTM, 1975.

Bibliography (transliterated):

1. Brunner V. Spravochnik po lazernoj tehnike / V. Brunner. – M.: Jenergoatomizdat, 1991. – 544 s. 2. Vedenov A.A. Fizicheskie processy pri lazernoj obrabotke materialov / A.A. Vedenov, G.G. Gladush M.: Jenergoatomizdat, 1985. – 208 s. 3. X-Ray diffraction data cards. – Committee of chemical analysis by X-Ray diffraction methods. – Philadelphia: ASTM, 1975.

Поступила в редакцию 21.07.2014

Клименко Леонид Павлович – доктор техн. наук, профессор кафедры экологии и природопользования Черноморского государственного университета им. П. Могилы, Николаев, Украина, e-mail: gector@kma.mk.ua.

Ревнюк Павел Яковлевич – канд. техн. наук, доцент, директор ПАТ Укр НИИ технологии судового машиностроения, г. Николаев, Украина.

Прищепов Олег Федорович – канд. техн. наук, доцент кафедры медицинских приборов и систем Черноморского государственного университета им. П. Могилы, Николаев, Украина.

Андреев Вячеслав Иванович – канд. техн. наук, доцент, заведующий научно-исследовательским отделом Черноморского государственного университета им. П. Могилы, Николаев, Украина, e-mail: avi@kma.mk.ua.

Соловьев Станислав Николаевич – канд. техн. наук, профессор кафедры технологии судового машиностроения Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова.

ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ МЕТОДОМ ЙОННО-ПЛАЗМОВИХ І ЛАЗЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Л. П. Клименко, П. Я. Ревнюк, О. Ф. Прищепов, В. І. Андреев, С. М. Соловйов

Розглянуто результати експериментальних досліджень щодо застосування лазерних та йонно-плазмових технологій для зміцнення деталей форсунок і поршневих кілець двигунів внутрішнього згорання. Комбіноване зміцнення деталей форсунок двигунів внутрішнього згорання (лазерна обробка каналів розпилювача форсунки та йонно-плазмове напылення конуса голки) забезпечило підвищення їх терміну служби з 3 600 до 8 000 годин. Результати проведених досліджень дають можливість рекомендувати процеси йонно-плазмового зміцнення для обробки поршневих кілець середньооборотних дизелів. Спільний знос пар із молибденовим покриттям у 2,2-2,5 рази менший, ніж у пар, де поршневе кільце хромоване. Спільний знос пар із лазерним зміцненням в 1,6-1,8 рази менший, ніж у пар, де поршневе кільце хромоване. За оцінками авторів, для першого компресійного кільця краще використовувати йонно-плазмове покриття, а для решти обробку лазером.

STRENGTHENING OF UNITS IN ICE BY ION-PLASMA AND LASER TECHNOLOGIES

L. Klymeiko, P. Revnyuk, O. Pryshchepov V. Andreev, S. Solovyov

The results of experimental research on the use of laser and ion-plasma technology for strengthening of details of injectors and piston rings for internal combustion engines are considered. Combined hardening of parts injectors internal combustion engines (laser processing channels of a sprayer and ion-plasma spraying cone needle) has improved resource. Considered the combined hardening diesel injectors ensure the improvement of their life with 3 600 up to 8 000 hours. The research results allow to recommend the processes of ion-plasma hardening for processing piston rings medium-speed diesel engines, Joint wear pairs molybdenum coated 2.2-2.5 times less than in pairs, where piston ring chrome. Joint wear pairs with laser hardening 1.6-1.8 times less than in pairs, where piston ring chrome. The authors, for the first compression ring better use of ion-plasma coating, and all the rest - processing laser.