

## Использование электродугового напыления для упрочнения поршневых колец двигателей

**Рудой А.П.**

*Институт газа НАН Украины, Киев*

На основе литературных данных и опыта предыдущих исследований в Институте газа, выполнен анализ, который позволил выбрать наиболее экономичный метод термического нанесения покрытия на детали. Проведенные эксперименты по изучению влияния параметров напыления на качественные показатели полученного покрытия позволили сформулировать базовые рекомендации относительно выбора технологии нанесения износостойких покрытий на кольца для двигателей внутреннего сгорания (в основном дизельных) в зависимости от условий их работы.

**Ключевые слова:** электродуговое напыление, поршневые кольца.

На основі літературних даних та досвіда попередніх досліджень в Інституті газу, зроблено аналіз, що дозволив вибрати найбільш економічний метод термічного нанесення покриття на деталі. Проведено експерименти по вивченню впливу параметрів наплення на якісні показники отриманного покриття дозволили сформулювати базові рекомендації щодо вибору технології нанесення зносостійких покриттів на кільця для двигунів внутрішнього згорання (насамперед дизельних) у залежності від умов їх роботи.

**Ключові слова:** електродугове наплення, поршневі кільця.

Поршневое кольцо — деталь поршневой группы двигателей внутреннего сгорания и является наиболее ответственной за срок и экономичность работы двигателя в целом. Кольцо крепится в поршне, поэтому износ его внутренней поверхности незначителен. Внешняя сторона кольца во время работы двигателя совершает поступательно-возвратное движение от нижней мертвой точки к верхней. При этом происходит трение между кольцом и внутренней поверхностью гильзы, что приводит к сносу внешней поверхности кольца. Как следствие, падает степень компрессии в блоках цилиндров двигателя. Это является причиной уменьшения мощности двигателя и увеличения расхода топлива на его работу.

Учитывая рост автомобильного, тракторного и локомотивного парков в странах СНГ, срок работы колец есть довольно важным показателем. Разработка оборудования и технологии нанесения износостойких покрытий на кольца поршневой группы двигателей, особенно дизельных, решило бы вопрос увеличения срока их эксплуатации и позволило бы сберечь энергетические, природные и финансовые средства на изготовление или приобретение новых колец.

На первом этапе работы был проведен анализ условий эксплуатации деталей таких видов дизельных двигателей, как КАМАЗ, ЛАЗ, СМД и др. Все они работают практически в

одинаковых условиях, но имеют разные геометрические размеры. Это не влияет на технологические особенности нанесения покрытий на внешнюю поверхность кольца, но в определенной степени зависит от напыляемого материала и метода его нанесения на поверхность.

Наиболее традиционным и промышленно используемым в настоящее время является метод нанесения покрытия на поверхность колец электрохимическим, или гальваническим хромированием. Он довольно простой и дешевый. Кроме того, он позволяет получать довольно большую твердость покрытия. Однако при этом повышается степень задираемости нанесенного покрытия и наблюдается появление большого количества микротрещин, которые могут проникать до основы кольца. Также к недостаткам этого метода следует отнести вредные испарения хрома во время нанесения покрытия. Это негативно влияет на состояние здоровья рабочего персонала и приводит к загрязнению окружающей среды.

Вторым, довольно часто используемым методом упрочнения колец является технология, которая базируется на электродуговой наплавке материалов на поверхность кольца с последующим шлифованием напыленной поверхности. Преимуществом этого метода нанесением покрытия на детали есть низкая себестоимость, но он технологично более сложный. Использо-

вание этой технологии устраняет указанные выше недостатки, но возникает другая сложность. При наплавке проволоками типа Нп-65 Г снижается износостойкость покрытия, но возникают случаи изменения геометрических размеров кольца (овальность, коробление). В [1] была предложена другая технология, а именно: наплавка медью марки М1 или бронзовым сплавом марки Бр ВЦ 10-2 с одновременным использованием специальной пасты, в состав которой входят мрамор, плавиковый шпат, графит и борная кислота. Но такая технология более дорогая, а главное, сложная для промышленных условий.

Наиболее перспективным способом получения износостойчивых покрытий представляется использование газотермических методов (плазменных, газопламенных, электродуговых) [2–7]. При использовании этих методов нанесения покрытия термическое влияние напыляемого материала на поверхность детали значительно ниже в сравнении с описанными выше. Так, температура поверхности при напылении не превышает 80–100 °С (для сравнения: при наплавке — 500–700 °С). Кроме того, покрытия, которые получают такими методами, имеют пористость 5–8 %. Полезность пористости заключается в том, что в процессе работы кольца в порах всегда присутствует смазочное масло. Благодаря этому уменьшаются механические усилия при движении кольца относительно гильзы и уменьшается температурный градиент, который существует между охлаждаемой гильзой и неохлаждаемыми кольцами поршневой группы.

После анализа технических и экономических преимуществ каждого из приведенных методов газотермического напыления [2–7] как оптимальный был выбран метод электродугового напыления. Данный метод аппаратно прост и не нуждается в высокой квалификации обслуживающего персонала. Экономические показатели электродугового напыления значительно выше, чем при использовании других методов (в 3 раза в сравнении с плазменным, в 4 раза — с газопламенным).

Однако, традиционное электродуговое напыление имеет недостатки. Прежде всего, это более широкий диапазон разброса образованных частиц по фракциям в сравнении с плазменным распылением и, как следствие, более высокая пористость покрытия и меньшая прочность сцепления покрытия с поверхностью детали.

С целью частичного устранения этих недостатков нами был использован конструктивно отличный от традиционной электродуговой распылитель. Основными отличиями этого распылителя являются изменение конфигурации подачи

электродных проволок по отношению к соплу, через которое подается сжатый воздух, и использование двух автономных механизмов подачи проволоки [8].

Благодаря этим изменениям достигнуто увеличение монодисперности распыленных частиц в 1,7–2,0 раза, повышение прочности сцепления покрытия с основой на 30 % и снижение пористости на 60 %. Удельные энергетические потери при напылении 1 кг материала на 30 % меньше в сравнении с использованием существующих промышленных электродуговых распылителей.

Учитывая проведенный анализ материалов для напыления и максимально доступных в Украине, выбрали две пары проволок для напыления на кольца: никель-хром-молибден; молибден-молибден. На первом этапе была попытка нанесения покрытия из никель-хрома и молибдена. Диаметр проволок из никель-хрома составлял 2,0 мм, а молибдена 1,0 мм.

В качестве материала был использован никель-хромовый сплав марки Х20Н80. Совместное напыление молибдена и никель-хрома значительно пластифицирует покрытия за счет более низкотемпературной составляющей. Молибденовое и никель-хромовое покрытия представляют собой гетерогенный псевдосплав с разнобразной зернистости с анизотропной чешуйчатостью.

Прочность отрыва покрытия от абразивно-струйной стальной поверхности при толщине 0,8 мм составляет 1,6 МПа, а при необходимой для покрытия колец (0,15–0,25 мм) — 2,9–3,3 МПа. На наш взгляд, вполне достаточно, чтобы обеспечить работоспособность колец с таким покрытием в дизельном двигателе.

Адгезионная прочность и зернистость молибдено-никельхромового покрытия в основном определяется дистанцией напыления и энергетическими показателями дуги. Электронномикроскопическими исследованиями было установлено наличие твердой фазы внутри матрицы, которая представляет собой твердый раствор. Возможно, такой твердой фазой могут быть интерметаллические соединения на основе  $\text{MoO}_3$ , Ni,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ .

Химическое взаимодействие между дольками покрытия и сталью приводит к растворению компонентов покрытия в стали и размыванию границы распределения между подложкой и покрытием. При данных исследованиях был использован псевдосплав следующего химического состава, %: молибден — 35–45; никель-хром — 55–65.

Визуальный осмотр напыленных колец показал, что пористость молибдено-никельхромо-

Покрытие	Износ колец, мкм	
	I кольцо	II кольцо
Молибден- молибден	25,5	16,0
Молибден- никель-хром	33,0	15,5
Гальванический хром	32,0	17,0

вого покрытия превышает 7 %. Это не влияет на технические характеристики, однако является неприемлемым с точки зрения внешнего вида.

Вторым этапом было нанесение пары проволок молибден-молибден. В обоих случаях оптимальные режимы напыления были практически одинаковы, но качественные показатели покрытий различались.

Исследование поверхности молибдено-никельхромового покрытия колец после их эксплуатации на дизельном двигателе показало, что поверхность этого покрытия, как и поверхность молибденового покрытия, имеет матовую поверхность, но меньшую на 2 % пористость с меньшим размером пор.

Измерение твердости на поверхности покрытия и рядом с ним выявило явление его наклепа. Твердость нихром-молибденового слоя немного меньше, чем чисто молибденового. Это можно объяснить тем, что никель-хром наклепывается значительно хуже, чем молибден.

Были проведены стендовые испытания на двигателе марки КАМАЗ на протяжении 150 ч. Сделано сравнение износостойкости трех типов напыленных колец: никель-хром и молибден, молибден-молибден, гальванический хром (таблица).

Меньший износ молибденового покрытия, скорее всего, является результатом присутствия в нем твердой фазы за счет оксида молибдена и одновременно более высокой степени наклепа самого молибдена.

Таким образом, работоспособность напыленных колец на 20–25 % выше, чем тех, которые изготавливаются на сегодняшний день.

## Выводы

Проведена маркетинговая работа по изучению колец, которые используются в двигателях внутреннего сгорания. Сделан выбор деталей, которые являются особенно значительными для поддержания двигателя в эксплуатации.

Базируясь на литературных данных и данных предыдущего опыта, проведен выбор метода восстановления деталей и выбор напыляемого материала, который позволяет получать качественное покрытие.

## Список литературы

1. Евдокимов В.Д., Лиджи-Горяев Р.Л. Автоматическая наплавка меди и ее сплавов на стальные детали с использованием пастообразных покрытий // Краткие результаты научной деятельности института. — Астрахань : Астрыбвтуз, 1990. — С. 34–35.
2. Wuich W. Das thermische Lichtbogenspritzen // Technika. — 1975. — Bd. 24, № 20. — S. 1591–1592.
3. Kuvin Brad F. Now to apply thermal spray coating // Weld. Des. and Fabr. — 1989. — Vol. 62, № 5. — P. 57–70.
4. Steffens H.-D., Dvorak M. Arc and plasma spraying today in the 90th // Trans. J. WRI. — 1988. — Vol. 17, № 1. — P. 57–70.
5. Bell G. Preliminary report development of thermal spraying in Japan // Surfase Eng. — 1989. — Vol. 5, № 1. — P. 22–24.
6. Betriebsanleitung fuer OSSU— Lichtbogenspritzenanlagen LG 350/H. — Mansa AG. — 1978.
7. Fras J. Regenerieren von Mashinenteilen der Landwirtschaft durch Lichtbogenmetallspritzen // Metallverarbeitung. — 1986. — Bd. 40, № 5. — S. 142–143.
8. Пат. 1181 Укр., МПК В 05 б. Электродуговой розпиловач металу / I.M.Карп, А.П.Рудой, С.В.Петров. — Оубл.

Поступила в редакцию 12.10.10

## Arc Spraying Application for Strengthening of Engines Plunger Rings

*Rudoy A.P.*

*The Gas Institute of NASU, Kiev*

The analysis on the literary data basis and previous researches in the Gas Institute which allows to choose the most economic method of thermal coating deposition on details is executed. The carried out experiments of spraying parameters influence on quality indicators of obtained coatings allow to formulate basic recommendations concerning wear-resistant coatings on engines plunger rings (generally diesel rings) deposit technology depending on the rings operating conditions.

**Key words:** arc spaying, plunger rings.

Received October 12, 2010