

УДК 621.9.015:621.43-233

В.А. Красный, к. т. н., доц., **В.В. Максаров**, д.т.н., проф.,
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,
г. Санкт-Петербург

e-mail: vikras1955@yandex.ru

Повышение прочности сцепления износостойкого напыляемого покрытия за счет обеспечения шероховатости поверхности

Показана зависимость прочности напыляемого покрытия с шероховатостью поверхности после струйно-абразивной обработки на примере поршневых колец со сталь-молибденовым покрытием. Рассматриваются результаты исследований по определению зависимости шероховатости поверхности от режимов струйно-абразивной обработки: расстояния до среза сопла, числа проходов, давления рабочего воздуха и частоты смены дроби.

***Ключевые слова:** шероховатость поверхности, прочность сцепления покрытия, струйно-абразивная обработка, газотермическое и газоплазменное напыление, поршневые кольца.*

V.A. Krasnyy, V.V. Maksarov

Increasing the strength of adhesion of sprayed wear resistant coating by providing surface roughness

The dependence of the strength of the sprayed coating with a surface roughness after blasting-abrasive machining for example piston rings with telemaintenance coating. The authors study to define the dependence of surface roughness on modes of jet-abrasive machining: the distance from the nozzle exit, the number of passes, the drive air pressure and frequency shift of the fraction.

***Keywords:** the surface roughness, the adhesion strength of the coating, jet blasting, thermal and flame spraying, piston rings.*

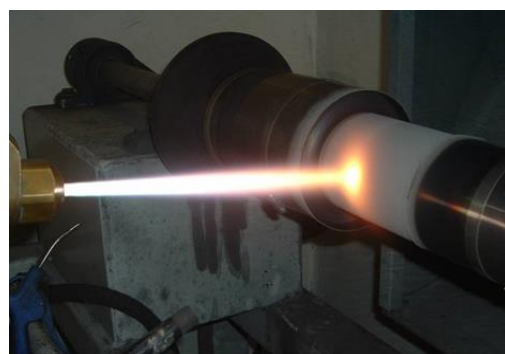
Повышение надежности современной техники, снижение себестоимости ее обслуживания, обеспечение конкурентоспособности, продление ресурса эксплуатации, а также ее реновация путем применения современных технологий для восстановления работоспособности узлов до уровня новых изделий - наиболее приоритетные направления развития техники.

Применение технологий нанесения износостойких покрытий, среди которых газотермические и газоплазменные процессы занимают значительное место, является одним из кардинальных путей решения данного вопроса. Существующие в настоящее время оборудование, материалы и технологии напыления позволяют значительно снизить или исключить влияние на изнашивание деталей таких факторов, как эрозия, коррозия (в том числе высокотемпературная), кавитация и др. [1].

Газотермические и газоплазменные покрытия (рис. 1а, б) применяют при ремонте оборудования и упрочнении рабочих поверхностей новых деталей. В зависимости от назначения покрытия и условий его работы меняются требования к точности соблюдения основных параметров покрытия - его состава, толщины, плотности и прочности сцепления с подложкой [2,3].



а



б

Рис. 1. Схемы газотермического (а) и газоплазменного (б) напыления

Газотермические покрытия широко применяются при изготовлении и ремонте ряда ответственных деталей двигателей внутреннего сгорания и, в первую очередь, деталей цилиндропоршневой группы (поршней, поршневых колец), также коренных и шатунных шеек коленчатых валов и ряда других.

В качестве подготовительной операции перед напылением широко применяется струйно-абразивная обработка поверхности подложки. Такая подготовка очищает поверхность и выводит ее из состояния термодинамического равновесия со средой, освобождая межатомные связи поверхностных атомов, т.е. химически активизирует подложку. Однако активность подложки быстро снижается из-за химической адсорбции газов из атмосферы и окисления. Кроме того, обработка делает поверхность шероховатой, это приводит к увеличению температуры в контакте под напыляемыми частицами на выступах шероховатости и повышает суммарную площадь участков приваривания. Шероховатая поверхность имеет большую площадь по сравнению с гладкой, что также

способствует увеличению прочности сцепления. Наличие оптимальной шероховатости по прочности сцепления определяется также объемом впадин шероховатости, обеспечивающим необходимую величину усадки напыленного слоя при охлаждении [4].

Выбор шероховатости поверхности и режимов струйно-абразивной обработки для повышения прочности сцепления покрытия с подложкой во-многом определяет как толщину покрытия, так и долговечность и надежность самой детали.

Для поршневых колец крупногабаритных двигателей внутреннего сгорания перед нанесением газотермических напыляемых покрытий, в частности покрытий на основе молибдена, применяется дробеструйная обработка. Повышение ресурса поршневых колец за счет применения газотермических покрытий обусловлено, с одной стороны, возможностью получения покрытия с требуемыми характеристиками износостойкости и заданной толщины, с другой стороны, сохранением традиционных технологий их изготовления и применяемых материалов с использованием недорогого и не требующего значительных производственных площадей оборудования.

При производстве поршневых колец широкое применение получило нанесение гальванического хрома, однако толщина такого покрытия невелика и для крупногабаритных двигателей, в частности, двигателей карьерных самосвалов, тепловозных и других, во многих случаях применяется покрытие на основе напыляемого молибдена и его композиций для верхнего компрессионного кольца (рис.2 а, б). Молибден обеспечивает высокую термостойкость из-за его высокой точки плавления (2620°C). Кроме того, благодаря этому методу нанесения покрытия, можно получить пористую структуру материала. В возникающих микропустотах на рабочей поверхности колец (рис. 2б) может сохраняться моторное масло, что предохраняет от возникновения задиров при экстремальных условиях эксплуатации. При этом толщина покрытия достигает 0,5 – 1 мм и более.



Рис. 2. Типы конструкций верхнего компрессионного поршневого кольца (а) и кольца с покрытием молибденом (б).

В работе рассматривалось композиционное сталь-молибденовое покрытие, получаемое из проволоки молибдена и стальной проволоки 11Х18М-ШД, наносимое газотермическим способом на рабочую поверхность поршневых колец диаметром 210 мм.

Перед нанесением покрытия кольца собирались на оправку по 20 штук, на рабочей поверхности каждого из них протачивалась трапециевидная канавка, затем на той же оправке кольца подвергались струйно-абразивной обработке дробью и последующему газотермическому напылению.

Прочность сцепления определялась углом закручивания α , при котором происходило отслаивание покрытия на окончательно готовых кольцах. Зависимость угла закручивания α от параметра шероховатости Rz определялась косвенным путем. Вначале устанавливалась зависимость Rz и α от частоты смены дроби n , а затем оценивалось их взаимовлияние.

Струйно-абразивная обработка производилась на следующих режимах: расстояние до среза сопла 130 мм; давление рабочего воздуха 0,4 МПа; количество проходов 2; частота вращения оправки 17 мин⁻¹; угол атаки сопла 80°; дробь ДСК-08 по ГОСТ 11964-81.

Замена дроби проводилась после обработки 35, 40 и 43 оправок колец. Шероховатость образцов колец измерялась на профилографе-профилометре модели 201.

В первой части исследований определялась зависимость шероховатости Rz образцов колец от частоты смены дроби n , представленная на рис.3а. Очевидно, что шероховатость, обеспечиваемая более новой дробью, выше.

Результаты испытаний по определению угла закручивания α , при котором происходило отслаивание покрытия в зависимости от частоты смены дроби n представлены на рис.3б. При этом угол закручивания изменялся от 57° при $n=35$ до 39° при $n=43$.

Обобщая результаты, представленные на рис. 3а и 3б, можно получить зависимость угла закручивания α от шероховатости Rz (рис.3в). При этом видно, что в рассматриваемом диапазоне изменения шероховатости указанная зависимость аппроксимируется практически в линейном виде, т.е. прочность сцепления увеличивается с увеличением шероховатости поверхности.

В работе [4] показано, что в более широком диапазоне, как при большой ($R_{\max} \geq 250$ мкм), так и при малой ($R_{\max} \leq 20$ мкм) шероховатости зарождаются очаги отслоений напыленного слоя от основного металла. Однако в практической работе столь широкий диапазон шероховатости не используется.

Таким образом, учитывая, что нормальная работа поршневых колец, как показывает опыт эксплуатации, обеспечивается при отслаивании

покрытий на углах выше 35° , можно сделать вывод о необходимости смены дроби после обработки не более 40 оправок. При этом шероховатость будет ограничена снизу и соответствует $Rz \geq 22$ мкм.

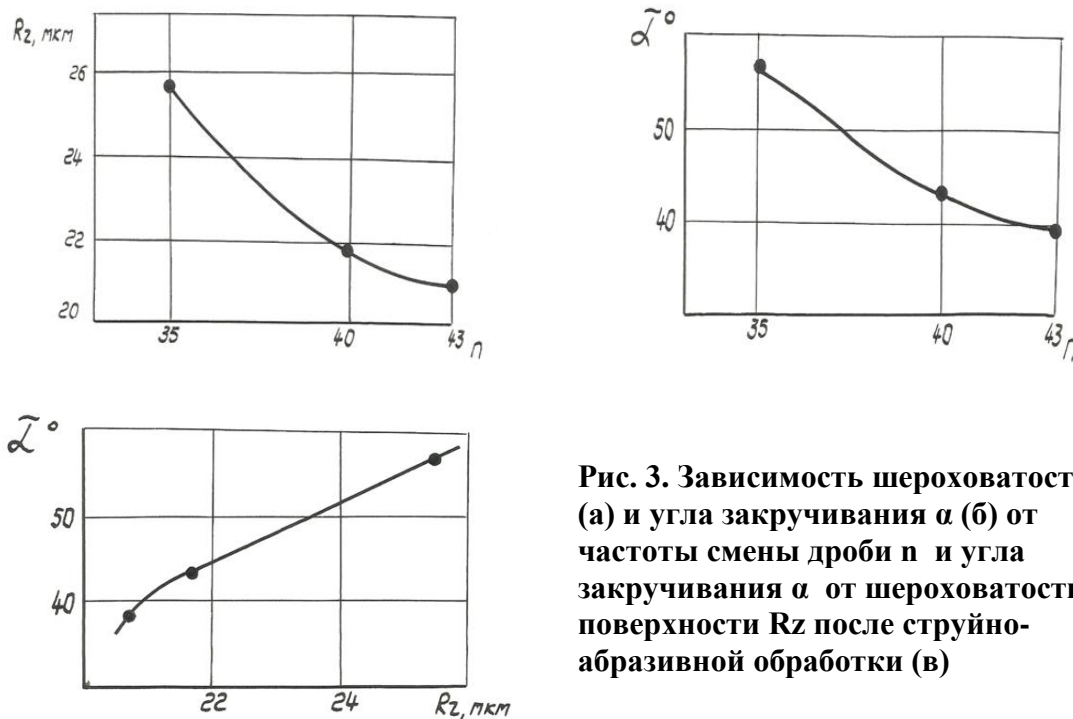


Рис. 3. Зависимость шероховатости Rz (а) и угла закручивания α (б) от частоты смены дроби n и угла закручивания α от шероховатости поверхности Rz после струйно-абразивной обработки (в)

Во второй части испытаний с целью обеспечения требуемой шероховатости поверхности после струйно-абразивной обработки были исследованы различные ее режимы и выявлена их взаимосвязь с параметрами шероховатости. В каждой серии экспериментов варьировался один из режимов обработки: расстояние до среза сопла, число проходов, давление рабочего воздуха, в то время как две другие характеристики оставались постоянными.

В первой серии экспериментов варьировалось расстояние до среза сопла (70, 90, 110, 130 и 150 мм), при этом обработка производилась за два прохода при давлении рабочего воздуха 0,4 МПа. Из рис. 4а видно, что как для новой дроби, так и для дроби после обработки 40 оправок, общим оптимальным расстоянием до среза сопла следует принять 110 мм.

Во второй серии варьировалось число проходов ($k=1, 2, 3$) при расстоянии до среза сопла 110 мм и давлении рабочего воздуха 0,4 МПа. Как показано на рис. 4б, оптимальным следует считать $k=2$.

В третьей серии варьировалось давление рабочего воздуха ($p=0,35; 0,40$ и $0,45$ МПа) при обработке за два прохода и расстоянии до среза сопла 110 мм. Оптимальным с точки зрения получения необходимой шероховатости следует считать $p=0,4$ МПа (рис. 4в).

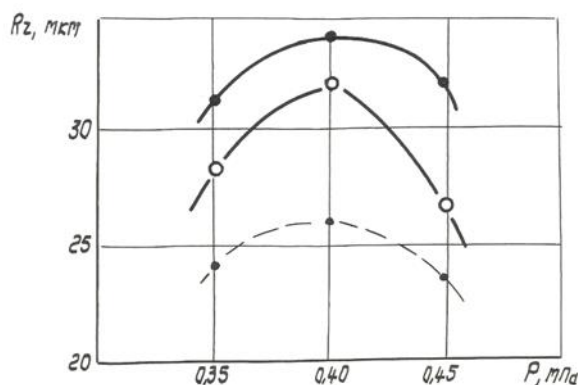
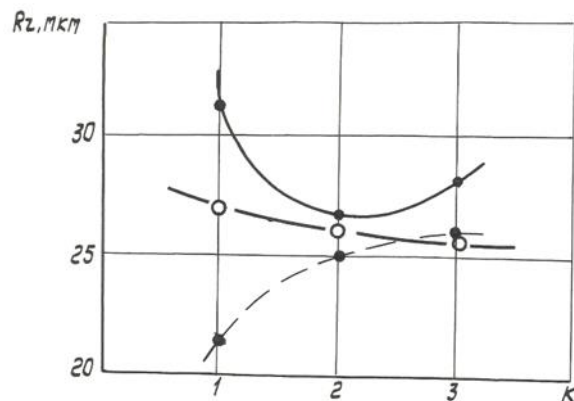
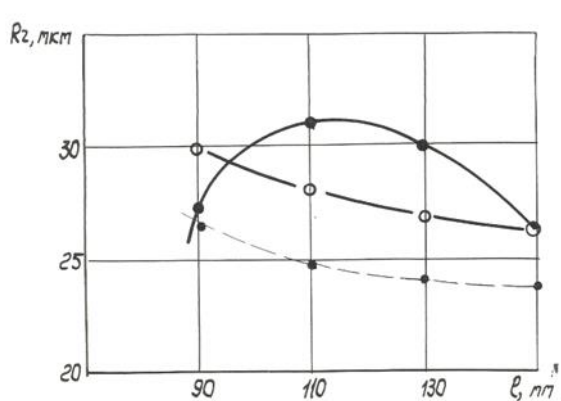


Рис. 4. Зависимость шероховатости поверхности от режимов струйно-абразивной обработки: расстояния до среза сопла (а), числа проходов (б), давления рабочего воздуха (в); ----- на новой дроби; ---о-----о-----о - на дроби после обработки 20 оправок; - - - - - на дроби после обработки 40 оправок

Таким образом, в результате проведенных исследований выявлена зависимость прочности сцепления газотермического износостойкого покрытия поршневых колец от шероховатости рабочей поверхности после струйно-абразивной обработки и установлены режимы, обеспечивающие оптимальную шероховатость: давление рабочего воздуха – 0,4 МПа; число проходов – 2; расстояние до среза сопла – 110 мм. При этом следует производить смену дроби после струйно-абразивной обработки не более 40 оправок колец.

Список литературы

1. **Кудинов В.А.** Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование/ В.А.Кудинов, Г.В.Бобров – М.: Металлургия, 1992. - 432 с.
2. **Гаркунов Д.Н.** Триботехника/ Д.Н.Гаркунов, Э.Л.Мельников, В.С.Гаврилюк – М.: КНОРУС, 2013. – 408 с.
3. **Дроздов Ю.Н.** Прикладная трибология (трение, износ и смазка)/ Ю.Н.Дроздов, Е.Г.Юдин, А.И.Белов – М.: Эко-Пресс, 2010. - 604 с.
4. **Рыжов Э.В.** Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин / Э.В. Рыжов, А.Г.Суслов, В.П.Федоров – М.: Машиностроение, 1979. -176 с.