

ВЛИЯНИЕ ФИНИШНОГО МЕТОДА ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ

Акулович Л.М., д.т.н., профессор; Сергеев Л.Е., к.т.н., доцент,

Романова Т.К., к.т.н., доцент; Сенчуров Е.В., инженер;

Падаляк В.В., инженер

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск

Гальванические покрытия нашли широкое применение в различных отраслях машино- и приборостроения. Они придают изделиям повышенную термо- и коррозионную стойкость, а так же обеспечивают долговечность в процессе эксплуатации узлов и агрегатов. Прочность сцепления покрытия с металлом подложки является одной из важнейших характеристик, определяющих физико-механические показатели изделий. Именно финишная обработка основного металла должна обеспечить требуемую шероховатость поверхности, необходимую для сцепления осаждаемого материала с поверхностью.

В их число входят и хромовые покрытия, в частности, поршневых чугунных колец, условия работы которых характеризуются повышенной температурой и износом. Минимальная толщина слоя хрома на таких кольцах должна составлять 120 мкм [1]. Технология хромирования в производственных условиях предусматривает температуру электролита $T=55^{\circ}\text{C}$, которая недостаточна для интенсивной диффузии хрома в подложку. В связи с этим соединение хрома с поверхностью чугунного кольца обеспечивается, в основном, за счет сил механического сцепления.

Следовательно, решающее влияние на прочность данного сцепления при прочих равных условиях оказывает характер микрорельефа основного металла, то есть микро- и субмикронеровности его поверхности. Образцами служили поршневые кольца из высокопрочного чугуна. Микроструктура чугуна состояла из сорбита отпуска с фосфидной эвтектикой - в виде отдельных зерен, размер глобулей графита - 60-80 мкм. Включения цементита не допускались. Твердость находилась в пределах 94-102 НВ. Содержание углерода 2,8-3,4 %.

Количественное и качественное определение прочности хромового покрытия поршневых колец является достаточно сложной задачей и производится только на специально подготовленных образцах и оборудовании. Это связано с тем, что на результаты измерений оказывает влияние большое количество случайных факторов. При исследованиях проводились измерения шероховатости хромового покрытия, прочности сцепления с основным металлом и равномерность распределения осадка по периметру кольца. Прочность сцепления должна превышать прочность на сдвиг внутри слоя хрома в осевом направлении, так как отделение частиц покрытия недопус-

тимо. Для оценки прочности сцепления был использован метод излома, по которому у годного кольца при его изломе не должно быть отслоения хромового покрытия от поверхности основы. Кроме того, возможна проверка качества покрытия как на наружной цилиндрической поверхности изделия, так и на его фаске. Необходимо отметить, что на результаты испытаний указанным методом влияет целый комплекс механических свойств, включая силу сцепления, уровень внутренних напряжений в покрытии, предел прочности на изгиб. В зависимости от размера и количества графитовых включений по периметру кольца предел прочности на изгиб может значительно изменяться. Соответственно изменяется и максимальная нагрузка, при которой происходит разрушение изделия. Применение данного вида контроля дает наиболее полную картину физического явления, что гарантирует высокие эксплуатационные свойства кольца, обеспечивая полный износ хромированного слоя без его разрушения за время всего цикла работы. Измерение шероховатости и запись микропрофиля поверхности производились на профилографе ПП-201 и микроскопе МИС-11.

Финишная обработка колец перед нанесением хромовых покрытий включала: суперфиниширование, магнитно-абразивную обработку (МАО) и крацевание (обработка металлическими щетками). Для устранения погрешности, связанной со структурными и размерными колебаниями, образцы были изготовлены из одной партии отливок. Финишная обработка производилась одновременно всеми указанными выше методами и с минимально возможным временным разрывом между процессом обработки и хромированием. Воздействие гальванического процесса устранялось загрузкой всех исследуемых образцов на одной оправке в одни и те же растворы и ванны, что обеспечивало адекватные условия очистки и обезжиривания поверхности и нанесения покрытия.

Ранее проведенные исследования [2] показывают, что прочность сцепления покрытий с основой увеличивается при параметрах обработки, формирующих собственный микрорельеф МАО. Поэтому варьирование режимами осуществлялось следующим образом: V – скорость вращения, 5 м/с; δ – рабочий зазор, 1 мм; Δ – зернистость ферроабразивного порошка (ФАП), 160/200 мкм (рис. 1). Смазочно-охлаждающие технологические средства – СинМА-1 ТУ 38.5901176-91, ФАП Ж15КТ ТУ 6-09-03-483-81.



Рис. 1. Форма частиц ферроабразивного порошка Ж15КТ:
а – $\times 100$; б – $\times 500$

Переменными факторами являлись: B – магнитная индукция, 0,8 - 1,1 Т; A – амплитуда осцилляции, 1-3 мм; V_0 – скорость осцилляции, 0,15-0,25 м/с; t – время обработки, 45-120 с. Оборудование - магнитно-абразивный станок МАС-1 производства ФТИ АНБ.

Для измерения толщины покрытия на поперечном разрезе поршневого кольца использовали микроскопический метод.

Оценка качества сцепления покрытия с подложкой характеризовалась частотой скалывания

$$K = \frac{n_1}{n_2}, \quad (1)$$

где n_1 - количество сколов; n_2 - количество изломов кольца.

При испытаниях методом излома были обнаружены следующие виды сколов:

1. Скол на границе раздела хром-чугун.
2. Скол в верхних слоях поверхности кольца. В этом случае сила сцепления покрытия с чугуном превышает предел прочности чугуна на разрыв и покрытие можно считать качественным.
3. Скол в толще хромового покрытия, происходящий по причине:
 - а) отслаивания хрома ввиду его чрезмерной хрупкости при качественном сцеплении с чугуном;
 - б) отслаивания из-за дефектов хромового покрытия, вызванных нарушениями гальванического процесса.

Анализ показывает, что основным недостатком суперфиниширования является невозможность обработки боковых фасок одновременно с цилиндрической наружной поверхностью колец. Последнее обстоятельство вызывает образование в местах сопряжения фасок с цилиндром переходных буртиков с очень малым радиусом скругления, что отрицательно сказывается на прочности хромового покрытия. В связи с этим обработка боковых фасок производится с высокой долей ручного труда путем постоянной переустановки каждого поршневого кольца.

Результаты испытаний представлены в таблице 1. На качество хромового покрытия в производственных условиях отрицательное воздействие оказывают также изменение структуры основного металла, в особенности количество графитных включений, и колебания диаметральных размеров.

Ранее было установлено, что оптимальная шероховатость поверхности изделий из чугуна для МАО достигается при следующем соотношении [3]:

$$\frac{\Delta z}{D_g} = 2,5-3,$$

где Δz - размер режущего зерна ФАП, мкм; D_g - средний диаметр глобул графитных включений, мкм.

**Сравнительная оценка прочности сцепления хромового покрытия
после различных методов обработки**

Метод обработки	Кол-во изломов	Кол-во сколов по фаске кольца	Кол-во сколов по наружной поверхности	Показатель прочности, <i>K</i>
Суперфиниширование	3	3	1	1,33
Магнитно-абразивная обработка	4	0	5	1,25
Крацевание	4	1	5	1,50

Кроме того, выявлено, что МАО по производительности уступает суперфинишированию, однако шероховатость поверхности после МАО ниже. После крацевания съем металла практически не наблюдается и некоторое уменьшение шероховатости происходит за счет пластического деформирования микровыступов от предшествующей обработки [2].

Выявлено, что колебания толщины покрытия по периметру наблюдаются при любом виде обработки и объясняются неточной установкой электродов в процессе хромирования, таблица 2. Как было указано выше, сцепление хромового покрытия с металлом кольца обеспечивается силами механического взаимодействия. Однако для получения хорошего сцепления необходимо, чтобы растущий осадок воспроизводил кристаллическую структуру металла катода [4].

Таблица 2

**Характеристики хромового покрытия при различных
методах обработки**

Метод обработки	Исходная шероховатость, <i>Ra</i> ₁ , мкм	Толщина хромового покрытия, мкм				
		Номера сечений				
		1	2	3	4	5
Суперфиниширование	0,28	190	190	200	210	200
Магнитно-абразивная обработка	0,24	180	190	200	190	190
Крацевание	1,57	190	180	190	190	200

Обработанные различными методами поверхности поршневых колец имеют отличия как по высоте микронеровностей, так и по их характеру [4]. Согласно данным, приведенным в таблице 3, видно, что метод обработки оказывает влияние на шероховатость хромового покрытия. Поверхность образцов после суперфиниширования и МАО имеет примерно одинаковую шероховатость, однако величина микронеровностей хромового осадка в обоих случаях существенно различается. Для оценки соотношения шероховатости поверхности основного металла к высоте микронеровностей хромового покрытия был введен коэффициент изменения шероховатости

$$K_m = \frac{Ra_z}{Ra_1}, \quad (2)$$

где Ra_x - шероховатость хромового покрытия, мкм; Ra_1 - шероховатость поверхности перед хромированием, мкм.

$$\frac{K_{ш\text{ мао}}}{K_{ш\text{ сф}}} = 2,56$$

Таблица 3

Влияние метода обработки на шероховатость хромового покрытия

Метод обработки	Исходная шероховатость, Ra_1 , мкм	Шероховатость после нанесения покрытия, Ra_x	Коэффициент изменения шероховатости $K_{ш}$
Суперфиниширование	0,25	15	60
Магнитно-абразивная обработка	0,22	34	154
Крацевание	1,55	46	30

Согласно нашим результатам такое различие объясняется следующими причинами:

1. Чередующиеся через строго определенные интервалы выступы и впадины на поверхности при суперфинишировании приводят при нанесении покрытия к равномерному распределению плотности тока по всей поверхности. Методом МАО невозможно достичь строгой периодичности шага микронеровностей. В этом случае неравномерное распределение плотности тока на поверхности вызывает неоднородность структуры и неравномерность толщины покрытия. На участках с повышенной плотностью тока, количество выделившегося металла (толщина покрытия) будет больше. Уменьшение числа неровностей, приходящихся на единицу длины профиля поверхности, ослабляет эффективность выравнивающего действия осадка. Скорость этого действия падает с увеличением толщины покрытия. При нанесении покрытия наблюдается эффект положительного и отрицательного выравнивания, который заключается в том, что более интенсивное осаждение покрытия происходит во впадинах и выступах микропрофиля. Это приводит к уменьшению глубины впадины в первом случае и увеличивает размер выступа во втором. При МАО образуется микрорельеф с симметричным отношением выступов и впадин. Их величина и тип имеют стохастический характер. Для такого профиля геометрическое выравнивание будет заключаться в копировании достигнутого методом МАО микрорельефа.

2. Различие в шероховатости хромового покрытия, зависит от состояния свободного графита. Его обнажения при МАО, приводит к высокой чистоте металлической основы, но усугубляет структурную неоднородность поверхностного слоя, как и при крацевании. Данный факт оказывает решающее значение на условия осаждения покрытия.

При методе МАО осуществляется обнажение графитных включений на поверхности, что приводит к увеличению шероховатости хромового покрытия в сравнении с суперфинишированием.

При крацевании происходит размазывание графита по металлической основе, в связи с чем ухудшаются условия электроосаждения покрытия и возрастает его шероховатость.

По влиянию на качество хромового покрытия указанные выше методы финишной обработки можно расположить следующим образом: а) суперфиниширование, б) МАО, в) крацевание.

Литература

1. Справочник конструктора-машиностроителя. Под. ред. В.И. Анурьева, т. 1. М: Машиностроение, 1982, 729 с.
2. Сакулевич Ф.Ю., Минин Л.К., Олендер Л.А. Магнитно-абразивная обработка точных деталей. Минск: Вышэйшая школа, 1977, 286 с.
3. Сворчевский Н.Я. Научные основы повышения эффективности магнитно-абразивной обработки созданием сверхсильных магнитных полей и новых технологических сред. Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. Минск: БГПА, 1994, 36 с.
4. Мельников П.С. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении. М.: Машиностроение, 1979, 296 с.

УДК 620.3

ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В АПК

Толочко Н.К., д.ф.-м.н., профессор

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск

При формировании стратегии нанотехнологического развития АПК важно определить приоритетные направления этого развития, т.е. такие направления, которые имеют первостепенное значение и, соответственно, получают первоочередное внимание. Нанотехнологическое развитие в этих направлениях происходит более интенсивно, поскольку на них концентрируются основные ресурсы, поэтому от правильности их выбора в значительной степени зависят перспективы экономического роста АПК.

Круг всевозможных направлений нанотехнологического развития АПК постоянно расширяется с возрастанием объема новых знаний в нанонауке и углублением связей в цепочке «наука – технология – производство». В связи с этим государственные органы (министерства, ведомства), осуществляющие управление деятельностью АПК, вынуждены проводить селективную стратегию нанотехнологического развития, основанную на отборе наиболее перспективных направлений с учетом их значимости для государства и имеющегося у него научного и экономического потенциала [1].