

Полученные покрытия визуально сравнивали для установления влияния плотности тока на качество осадков металла.

Установлено, что увеличение плотности тока в заданных пределах способствует упрочнению и увеличению блеска покрытий. Однако следует помнить, что при значительном превышении плотности тока покрытие из мелкокристаллического (компактного) переходит в дендритное (порошкообразное)[4]. Средняя оптимальная плотность тока равняется  $300 \text{ А/м}^2$ . В дальнейшем экспериментальная работа будет проводиться в направлении влияния состава электролита, температуры, а также добавок и примесей на качество покрытия.

### Список информационных источников

1.Петров Ю.В. Шероховатость гальванических покрытий на постоянном токе [Электронный ресурс]. – <http://galvplat.ru/art5122.htm>

2.Слепченко Т.В. Влияние режима электролиза [Электронный ресурс]. – <http://msd.com.ua/proizvodstvo-elektricheskix-akkumulyatorov/vliyanie-rezhima-elektroliza/>

3.Стекольников Ю.А., Стекольников Н.М. Физико-химические процессы в технологии машиностроения: учеб. пособие. – Елец: Издательство Елецкого государственного университета имени И.А. Бунина, 2008. – 136 с.

4.Уханов А.С. Гальваническое никелирование [Электронный ресурс]. – <http://zctc.ru/sections/nickel>

## СКОРОСТЬ ИЗНАШИВАНИЯ АБРАЗИВОМ РАЗЛИЧНОЙ ТВЕРДОСТИ Fe-Cr-V-Mo-C ПОКРЫТИЙ

*Залевский М.Ю., Дегтерёв А.С.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: А.С. Дегтерёв, ассистент кафедры оборудования и технологии сварочного производства”*

В работах [1, 2, 3] было показано, что режим наплавки оказывает существенное влияние на микростроение Fe-Cr-V-Mo-C покрытий, полученных плазменной наплавкой одиночными валиками промышленного порошка Пр-Х18ФНМ. Он определяет среднее число частиц карбида MC, их диаметры, фактор формы, объемную долю, равномерность распределения в объеме покрытий, количество остаточного аустенита в аустенитно-мартенситной матрице, размер

зерен матрицы, объемную долю эвтектического карбида  $M_7C_3$ , равномерность его распределения.

Известно, что абразивная износостойкость композиционного материала определяется как его микроструктурными параметрами, так и формой, размерами, твердостью абразивных частиц.

Целью настоящей работы является исследование скорости изнашивания абразивом различной твердости Fe-Cr-V-Mo-C упрочняющих слоев, отличающихся микростроением.

### **Материалы и методы исследования**

В качестве наплавочного материала в работе применяли промышленный порошок ПР-Х18ФНМ, фракцией от 50 до 200 мкм, следующего химического состава (мас. %): 2,1...2,4 С, 17...19 Cr, 2...3 Ni, 7...8 V, 2...2,6 Mo, Fe – основа. В качестве основного материала (подложки) использовали пластины из стали 20 размером 250×100×10 мм, поверхность которых предварительно шлифовалась.

Покрытия наносили на установке УПН-303УХЛ4 с водоохлаждаемым плазмотроном. В качестве плазмообразующего, транспортирующего и защитного газов применяли аргон высшего сорта.

Покрытия наплавляли за один проход током прямой полярности, величина которого варьировалась в пределах от 220 до 260 А.

Напряжение на дуге составляло 34...39 В, расстояние от плазмотрона до изделия 10...12 мм. Диаметр плазмообразующего сопла был равен 6 мм, а диаметр вольфрамовой вставки медного электрода 5 мм. Наплавку вели с линейной скоростью в 4,5 м/ч без и с поперечными колебаниями плазмотрона размахом 10, 20 и 30 мм. Частоту колебаний варьировали в пределах от 0,25 до 0,5 Гц. Скорость подачи порошка задавали в диапазоне от 0,65 до 2,2 кг/ч.

Микрошлифы изготавливали механическим шлифованием и механическим полированием на алмазных пастах различной дисперсности и пасте ГОИ. Химическое травление производилось при комнатной температуре методом погружения образцов. Для макротравления использовали 4 % раствор  $HNO_3$  в  $C_2H_5OH$ . Время травления составляло 15...20 с. Частицы карбида ванадия, выявляли рельефным полированием и исследовали с применением метода темнопольного освещения. Для выявления эвтектического карбида  $M_7C_3$  применяли химический реактив следующего состава: 8,3 %  $K_3[Fe(CN)_6]$ , 8,3 % KOH, 83,4 %  $H_2O$ . Время травления: 60 с.

Анализ микроструктуры покрытий проводили с помощью оптического микроскопа Olympus GX51, снабженного анализатором изображений SIAMS 700. С его помощью оценивали объемную долю карбида  $M_7C_3$ , объемную долю, средний диаметр и средний фактор формы частиц MC, рассчитанный как отношение ортогональной максимальной проекции частицы к максимальной проекции частицы; а также число частиц MC, приходящихся на единицу площади шлифа ( $10^4$  мкм<sup>2</sup>).

Исследования фазового состава наплавленных покрытий проводили на дифрактометре Shimadzu XRD 6000 с фильтрованным  $Co_{K\alpha}$  – излучением в режиме сканирования в интервале углов  $2\theta$  от  $10^\circ$  до  $110^\circ$ , с шагом  $0,1^\circ$ .

Испытания на износ при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы проводили по ГОСТ 23.208-79. Испытания длились в течение не менее 165 мин, с определением потери массы образцов через каждые 15 мин на аналитических весах. В качестве абразивного материала использовался электрокорунд фракцией менее 500 мкм угловатой формы и кварцевый песок угловатой формы двух фракций: менее 200 мкм и 200...500 мкм.

### Результаты и обсуждение

В исследованных композиционных покрытиях каждая фазовая составляющая вносит свой вклад в общий уровень их износостойкости. Анализ результатов испытаний на износ кварцевым песком фракцией 200...500 мкм показал, что скорость изнашивания Fe-Cr-V-Mo-C покрытий линейно возрастает от 0,11 до 0,22 мг/мин с увеличением доли основного металла в наплавленном покрытии от 5 до 55 %, с ростом твердости от 44, 5 до 56 HRC, с уменьшением средней объемной доли частиц карбида ванадия от 11 до 3 %, уменьшением объемной доли карбида  $M_7C_3$  от 26 до 1,5 %, с изменением соотношения между  $\alpha$ - и  $\gamma$ -твердыми растворами матрицы в результате увеличения доли  $\alpha$ -фазы в ней от 20 до 75 %.

Скорость изнашивания не зависит от среднего диаметра частиц карбида MC в пределах его средних значений 1,1 ... 2,1 мкм и увеличивается с изменением формы частиц MC от равноосной к вытянутой, т.е. с уменьшением фактора формы MC от 0,81 до 0,62. Высокий уровень сопротивлению изнашиванию демонстрируют покрытия, в микроструктуре которых равномерно распределены на площади в  $10^4$  мкм<sup>2</sup> не менее 350 частиц карбида ванадия.

При истирании частицами кварца размерами менее 200 мкм опытных образцов их скорость изнашивания мало отличается от скорости изнашивания крупным  $\text{SiO}_2$ . Она принимает значения от 0,1 до 0,18 мг/мин. Зависимости, связывающие потерю массы покрытий в единицу времени с микроструктурными параметрами, долей основного металла в наплавленном металле и твердостью носят схожий характер.

Уменьшение износостойкости упрочняющих слоев с уменьшением объемных долей карбидных фаз и доли остаточного аустенита в матрице можно объяснить следующим образом. Кварцевый песок имеет твердость 1000...1200 HV<sub>0,1</sub>, уступая твердости карбидных включений Fe-Cr-V-Mo-C композита, а именно VC (2900 HV<sub>0,1</sub>) и  $\text{M}_7\text{C}_3$  (1380 HV<sub>0,1</sub>) [4]. Потому армирующие матрицу фазы эффективно препятствуют глубокому внедрению и свободному движению частиц кварцевого песка по всей поверхности покрытия. В результате многократного на отдельных участках между карбидами микровыдавливания и микрорезанья острыми гранями абразивных частиц метастабильный остаточный аустенит матрицы пластически деформируется и затем, упрочняясь, превращается в мартенсит. В результате бездиффузионной перестройки решетки происходит поглощение части энергии фрикционного взаимодействия. А значит, сокращение объемной доли остаточного аустенита способствует снижению уровня износостойкости покрытий.

Таким образом, при изнашивании кварцевым песком, как состояние матрицы, так и объемная доля, число и форма упрочняющих фаз Fe-Cr-V-Mo-C покрытий вносят существенный вклад в сопротивление абразивному износу.

Скорость изнашивания покрытий электрокорундом на порядок превосходит скорость износа кварцевым песком и составляет 1,1...1,7 мг/мин. Поверхности образцов после испытаний покрыты хорошо различимыми царапинами, расположенными параллельно направлению скольжения абразивных частиц. Электрокорунд (2000...2400 HV<sub>0,1</sub> [4]) значительно превосходит по твердости карбид  $\text{M}_7\text{C}_3$  и аустенитно-мартенситную матрицу покрытий, уступая лишь частицам карбида ванадия. Потому в ходе испытаний острые грани абразива режут твердые растворы матрицы вместе с эвтектическим карбидом  $\text{M}_7\text{C}_3$ . Часть высокотвердых частиц MC целиком уносится с рабочей поверхности образца вместе со срезаемыми менее твердыми фазами, не внося вклад в повышение сопротивления изнашиванию из-за малых своих размеров. Часть MC, вступающих в контакт с абразивными частицами, повреждаются, вдавливаются в матрицу или вырываются из нее.

## Выводы

1. Скорость изнашивания Fe-Cr-V-Mo-C покрытий электрокорундом в 8...10 раз выше скорости изнашивания их кварцевым песком.

2. Лучшие износостойкие свойства (вне зависимости от твердости абразива) демонстрируют покрытия, имеющие следующее микростроение: объемную долю частиц карбида MC не менее 9 %, при их количестве на фиксируемой площади шлифа не менее 350 штук, равноосной формы, с фактором формы не менее 0,75; не менее 19 объемных % карбида  $M_7C_3$ ; матрицу, содержащую от 19 до 35 %  $\alpha$  – фазы.

3. Высокий уровень эксплуатационных характеристик можно обеспечить в покрытиях, доля основного металла в наплавленном у которых не превышает 20 %, а твердость принимает значения 44,5...46,5 HRC.

## Список информационных источников

1. Дегтерёв А.С., Гнусов С.Ф. Влияние технологических параметров плазменной порошковой наплавки током прямой полярности на формируемую структуру Fe-Cr-V-Mo-C покрытий // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320. – № 2. – С. 87–94.

2. Гнусов С. Ф., Дегтерёв А. С. Влияние режимов плазменной наплавки на микроструктуру карбида ванадия в покрытиях на основе порошка ПР-Х18ФНМ // [Известия Томского политехнического университета](#). – 2014. – Т. 324. – № 2. – С. 63–71.

3. Дегтерев А.С., Советченко Б.Ф., Трущенко Е.А., Гнусов С.Ф. Влияние технологических параметров плазменной порошковой наплавки на формируемую структуру покрытий системы Fe-Cr-V-Mo-C // Сварка и диагностика. – 2011. – № 4. – С. 13 – 20.

4. Арзамасов Б.Н., Т.В., Герасимов С.А. и др. Справочник по конструкционным материалам. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 640 с.