

## ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ FE-CR-V-MO-C

Дегтерёв А.С., Мархаева А.Р.

Научный руководитель: Дегтерёв А.С., ассистент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [alena.marxaeva@mail.ru](mailto:alena.marxaeva@mail.ru)

### Введение

Сопротивление износу Fe-Cr-V-Mo-C сплавов высоколегированных ванадием сильно зависит от микроструктурных параметров металлической матрицы (фазового состава, соотношения фаз, их стабильности) и карбидов (типа, морфологии, объемной доли, равномерности распределения)[1]. Известно, что аустенитно-мартенситное строение матрицы, в которой аустенит склонен к фазовому переходу под нагрузкой, обеспечивает высокий уровень износостойких свойств. С другой стороны, равномерно распределенные высокодисперсные карбидные частицы равноосной формы эффективно защищают матрицу, предотвращают развитие адгезионного схватывания, не склонны к растрескиванию, выкрашиванию и также обеспечивают Fe-Cr-V-Mo-C сплавам высокую износостойкость.

В работе [1] показано, что в литой высокованадиевой HVHSS стали, содержащей 2,58 % C и 9,3 % V, подвергнутой аустенитизации и отпуску, карбиды ванадия имеют средний размер около 10 мкм. А в стали, содержащей 2,92 % C и 9,03 % V, более 50% частиц карбида ванадия больше 15 мкм в диаметре.

В [2] показано, что увеличивая скорость охлаждения при литье Fe-Cr-V-Mo-C сплава от 1,57 до 3,82 °C можно добиваться двух-трехкратного уменьшения частиц карбида ванадия (от 30...60 мкм до 5...30 мкм), некоторого увеличения их объемной доли (от 11,2 до 18,7), изменения формы от вытянутой к равноосной и повышения гомогенности их распределения.

В [3] показано, что распылением высокованадиевой стали Vanadis 4 на охлаждаемую, вращающуюся подложку можно сформировать структуру материала, содержащую значительное количество равноосных мелкодисперсных (диаметром 1...3 мкм) частиц карбида ванадия, располагающихся внутри и по границам зерен матрицы. Литая же сталь Vanadis 4 содержит в структуре крупные (длиной до 30 мкм) вытянутые вдоль границ зерен частицы VC.

Изготовление из износостойкого сплава всей детали литьем не всегда целесообразно и возможно. Потому на рабочих поверхностях деталей машин и механизмов создают слои с особым требуемым комплексом свойств. Для этого в настоящее время широко применяют технологии наплавки, среди которых особый интерес представляет наплавка концентрированными потоками энергии. К ним относят электронный луч, лазер, а так же плазменную дугу. Данные источники тепла объединены способностью распространять колоссальную энергию на минимальную поверхность, а

технологии упрочнения - независимостью регулирования подачи присадочного материала от остальных параметров режима. Все это позволяет создавать покрытия, содержащие метастабильные закалочные структуры, регулировать склонность материалов к фазовым превращениям, измельчать структурные составляющие сплавов и эффективно воздействовать на их износостойкие и другие свойства.

Цель настоящей работы: провести сравнительный анализ строения Fe-Cr-V-Mo-C покрытий, полученных электронно-лучевой и плазменно-порошковой наплавками.

### Материалы и методы исследования

В качестве наплавляемого материала служил промышленный порошок на основе железа ПР-Х18ФНМ, фракцией от 50 до 200 мкм, следующего химического состава (мас. %): 2,1...2,4 C, 17...19 Cr, 2...3 Ni, 7...8 V, 2...2,6 Mo, Fe – остальное. В качестве упрочняемых деталей выступали пластины из стали 20 размером 250×100×10 мм. Перед наплавкой их поверхность шлифовали.

Наплавку электронным лучом производили в вакууме с помощью установки, оборудованной порошковым дозатором, электронной пушкой с плазменным катодом и блоком развертки луча, по технологии, описанной в [4].

Плазменно порошковую наплавку осуществляли на установке УПН-303УХЛ4. Для повышения степени защиты формируемых упрочняющих слоев от негативного влияния атмосферного воздуха на плазмотрон устанавливали устройство дополнительного обдува зоны наплавки. В качестве плазмообразующего, транспортирующего и защитного газов применяли аргон высшего сорта.

В настоящей работе способ приготовления микрошлифов традиционный – механическое шлифование и механическое полирование на алмазных пастах различной дисперсности.

Анализ микроструктуры покрытий проводили на поперечных микрошлифах, вырезанных из зоны установившегося режима с помощью оптического микроскопа Olympus GX51, снабженного анализатором изображений SIAMS 700. Для оценки равномерности структуры по толщине формируемых покрытий, по оси покрытий, от границы сплавления к их вершине, прокалывали дорожку уколов -маркеров алмазной пирамидой при нагрузке в 0,981 Н с шагом 300 мкм. Справа и слева от каждого маркера анализировали микроструктуру. Частицы карбида ванадия, выявляемые рельефным полированием, исследовали с приме-

нением методов дифференциального интерференционного контраста и темнопольного освещения. С помощью анализатора изображений оценивали объемные доли частиц VC, их средние диаметры, их средний фактор формы, рассчитанный как отношение ортогональной максимальной проекции частицы к максимальной проекции частицы, и число частиц, приходящихся на единицу площади шлифа ( $10^4$  мкм<sup>2</sup>), а также объемную долю Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>.

Для выявления эвтектического карбида типа Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> проводили химическое травление при температуре 20 °С методом погружения образцов в реактив следующего состава: 8,3 % K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>], 8,3 % KOH, 83,4 % H<sub>2</sub>O. Время травления составляло 60 с.

#### Результаты и обсуждение

90...95 % частиц промышленного порошка ПР-Х18ФНМ имеет округлую форму, остальные удлиненную. В результате анализа микроструктуры отдельных частиц порошка, было определено их микростроение. Светлые округлые зерна матрицы диаметром 2...3 мкм окружены сеткой эвтектики, объемная доля которой составляет 30...50 %. Внутри и по границам зерен выявляются дисперсные, средним диаметром около 0,7 мкм, равноосные выделения, с фактором формы 0,79, объемной долей 14...15 % в количестве 2500...3000 штук на фиксированной площади шлифа в  $10^4$  мкм<sup>2</sup>.

По данным рентгеноструктурного анализа порошок состоит из α- и γ- твердых растворов, внутри и по границам которых находятся частицы карбида ванадия. Эвтектический карбид представляет собой карбид типа Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>. Соотношение между α- и γ- фазами равно примерно 35:65.

Технология электронно-лучевой наплавки характеризуется низкой производительностью, так как позволяет формировать упрочняющий слой высотой 4...5 мм только за 5...6 проходов. К тому же, здесь значительное время затрачивается на создание вакуума внутри камеры, ограничивающей габаритные размеры упрочняемых деталей. Напротив, плазменно-порошковая наплавка делает возможным получение покрытий высотой до 6 мм за один проход, однако высокий объем ванны расплава способствует формированию большего уровня остаточных напряжений и деформаций. Важными преимуществами плазменно-порошковой наплавки являются постоянное нали-

чие возможности прямого доступа к упрочняемой поверхности, большая мобильность и меньшая сложность оборудования.

Покрытия, полученные электронно-лучевой наплавкой в зависимости от режима содержат частицы карбида ванадия средним по сечению диаметром от  $1,1 \pm 0,1$  до  $1,5 \pm 0,2$  мкм, средним фактором формы около 0,79, в количестве на фиксированной площади в  $10^4$  мкм<sup>2</sup> от  $600 \pm 150$  до  $1000 \pm 300$  штук. Средняя по сечению объемная доля частиц VC колеблется от  $12,5 \pm 1$  до  $13,5 \pm 1,2$  %, а эвтектического карбида Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> располагается на уровне  $24 \pm 3,5$  %. Необходимо отметить слоистую неоднородную структуру полученных наплавкой электронным лучом покрытий.

Упрочняющие слои, полученные плазменно-порошковой наплавкой, характеризуются большей однородностью распределения структурных составляющих. Они в зависимости от режима содержат частицы карбида ванадия средним по сечению диаметром от  $1,3 \pm 0,2$  до  $2,2 \pm 0,2$  мкм, с средним фактором формы от 0,64 до 0,81, в количестве на фиксированной площади от  $150 \pm 20$  до  $750 \pm 100$  штук, при средней объемной доле от  $6,5 \pm 1$  до  $13,5$  %. Средняя объемная доля эвтектического карбида Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> в них принимает значения от  $9 \pm 1$  до  $30 \pm 3$  %.

На основании вышеизложенного можно утверждать предпочтительность использования технологии плазменно-порошковой наплавки для создания покрытий системы Fe-Cr-V-Mo-C. Так как, с одной стороны, эта технология обеспечивает более высокую производительность, а с другой позволяет формировать микростроение упрочняющих слоев, мало отличимое от строения покрытий, полученных электронно-лучевой наплавкой.

#### Выводы:

1) Для нанесения Fe-Cr-V-Mo-C покрытий предпочтение следует отдавать технологии плазменно-порошковой наплавки, а не технологии электронно-лучевой наплавки.

2) В литых Fe-Cr-V-Mo-C сплавах карбида ванадия могут достигать размеров порядка 30...60 мкм, в покрытиях, полученных электронно-лучевой и плазменно-порошковой наплавками – средний по сечению диаметр составляет 1,1...2,2 мкм, а в промышленном порошке - 0,7 мкм.

Работа выполнена в рамках ГЗ “НАУКА” №862.

#### Список литературы:

- 1) Ying Ping Ji, Su Jun Wu, Liu Jie Xu, Yan Li, Shi Zhong Wei. Effect of carbon contents on dry sliding wear behavior of high vanadium high speed steel // Wear. – 2012. – No. 294–295. – P.239–245
- 2) Yikun Luan, Nannan Song, Yunlong Bai, Xiuhong Kang\*, Dianzhong Li Effect of solidification rate on the morphology and distribution of eutectic carbides in centrifugal casting high-speed steel rolls // Journal of Materials Processing Technology. – 2010. – No.210. – P. 536–541
- 3) Fei Yan, Zhou Xu, Haisheng Shi, Junfei Fan. Microstructure of the spray formed Vanadis 4 steel and its ultrafine structure // Materials characterization – 2008. – No.59. – P.592–597
- 4) Панин В.Е., Белюк С.И. Дураков В.Г., Прибытков Г.А., Ремпе Н.Г. Электронно-лучевая наплавка в вакууме: оборудование, технология, свойства покрытий // Сварочное производство. – 2000. – №2. – С.34–38.