

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ТУГОПЛАВКИХ
СОЕДИНЕНИЙ, ВВЕДЕННЫХ В СОСТАВЫ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ,
НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА НАПЛАВЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ**

А.А. КАРАНДАШЕВ¹, Н.К. ГАЛЬЧЕНКО²

¹ Томский политехнический университет

² Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

Email: archynk@mail.ru

**STUDY OF INFLUENCE ULTRADISPERSED REFRACTORY COMPOUNDS
INTRODUCED IN THE COMPOSITION CORED WIRE, ON STRUCTURE AND
PROPERTIES THE DEPOSITED COATINGS**

A.A. KARANDASHEV, N.K. GAL'CHENKO

¹ Tomsk Polytechnic University

² Institute of Strength Physics and Materials Science

Email: archynk@mail.ru

***Annotation.** Compositions of welding electrodes and flux cored wire with microdisperse titanium carbonitrides and titanium aluminum nitrides for wear resistant surfacing have been produced. The service properties of the deposited coatings exceed the properties observed in production testing.*

Введение. Повышение износостойкости деталей машин и механизмов в процессе их производства или восстановления является одной из основных проблем развития машиностроения. В настоящее время широко используется электродуговой способ износостойкой наплавки, где в качестве наплавочных материалов применяют литые сплавы, керметы, трубчатые электроды, порошковую проволоку и т.д. Но практика показывает, что многие марки сварочных электродов отечественного производства не конкурентно способны на мировом рынке продукции, поскольку не всегда способны обеспечить требуемый уровень свойств наплавленным материалам.

В последнее время повышенный интерес вызывают тройные соединения на основе титана - карбонитриды типа Me-C-N [1], а также соединения системы $M_{n+1}AX_n$ с гексагональной плотной упаковкой, где М – переходный металл, А – элемент подгруппы а таблицы Менделеева, X – углерод или азот (MAX-фазы) [2, 3]. Среди соединений системы $M_{n+1}AX_n$, синтезированных к настоящему времени, наиболее изучены фазы на основе титана – Ti_2AlC , Ti_2AlN , $TiAlC_2$, Ti_3SiC_2 , введение которых в состав композиционных покрытий может способствовать не только повышению износостойкости и термостабильности последних, но и, благодаря их слоистой структуре, улучшению качества поверхности упрочняемых деталей в результате обработки стандартными методами механической обработки.

В настоящей работе приведены результаты экспериментальных исследований влияния ультрадисперсных тройных соединений систем Ti-C-N и Ti-Al-N, введенных в составы порошковой проволоки, на структуру и свойства наплавленных покрытий.

Материалы и методы исследования. Порошковую проволоку для автоматической наплавки готовили из стальной ленты (Ст 10) с порошковыми заполнителями экспериментальных составов, представляющими собой механическую смесь металлического порошка (Ст 50), порошков TiC_xN_y-Fe и Ti_xAl_yN с переменным содержанием смешиваемых компонентов. Влияние тройных

тугоплавких соединений систем Ti-C-N и Ti-Al-N на структуру, фазовый состав, твердость и износостойкость наплавленных слоев исследовали параллельно с образцами, наплавленными порошковой проволокой 35B9X3ФС, используемой для упрочняющей наплавки прокатных валков сталепроволочного стана ПС 250-1 ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК».

Структуру наплавов анализировали с помощью оптического микроскопа "AXIOVERT-200MAT" (Zeiss, Германия), микротвердомера ПМТ-3 (ГОСТ 9450-76) при нагрузках $P=50; 100$ гр. Оценку структуры и фазовый состав образцов проводили послойно методом рентгенографического анализа на дифрактометре ДРОН-4 с применением характеристического излучения CoK_α . Испытания образцов с покрытиями осуществляли в условиях не жесткозакрепленных абразивных частиц (ГОСТ 23.208-79) (кварцевый песок).

Структура и свойства покрытий, наплавленных порошковой проволокой с тугоплавкими соединениями TiC_xN_y и $\text{Ti}_x\text{Al}_y\text{N}$. В производственных условиях ОАО «ЗСМК» для упрочнения валков горячей прокатки из стали 50 используют легированную порошковую проволоку состава 35B9X3ФС. Для предотвращения образования холодных трещин в наплавленных слоях технологией предусмотрено проведение предварительного подогрева поверхности валков до $200-220^\circ\text{C}$, что усложняет и удорожает весь технологический цикл и не всегда приводит к конечной цели - получению качественной наплавки с высоким уровнем износостойкости.

Рентгенофазовый анализ показал, что при наплавке порошковой проволокой марки 35B9X3ФС кристаллизация металла происходила с выделением первичных карбидов легирующих элементов типа Me_6C (1,3 об.%), которые могут формироваться как на основе хрома, так и ванадия. По данным РФА, наряду с Fe- α (~31,4 об.%), Fe- γ (~ 9,3 об.%) в структуре определены соединения Fe $_{0,93}$ W $_{0,07}$ (~21 об.%) и Cr $_{0,955}$ Fe $_{0,04}$ (~38,3 об.%).

Микроструктура покрытий представлена темными зернистыми участками размером 40–60 мкм со структурой мартенситного типа, между зернами которыми хорошо просматривается ферритная матрица в виде светлых прослоек (рис. 1,а).

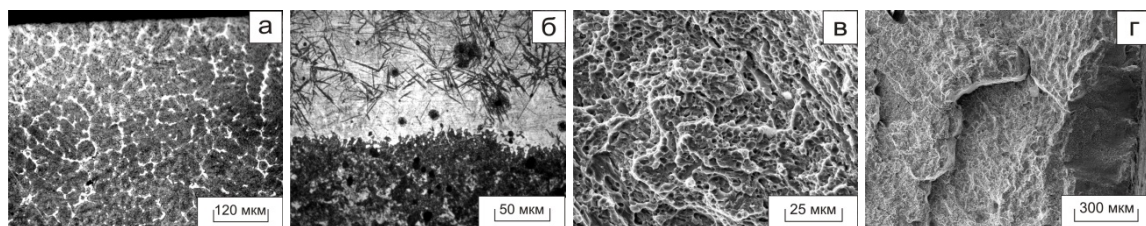


Рисунок 1 - Микроструктура (а, б) и фрактограммы излома покрытий (в, г), наплавленных порошковой проволокой 35B9X3ФС: а, в - приповерхностные участки покрытия; б, г- на границе раздела между подложкой и покрытием

Зона сплавления (рис. 1,б), обозначенная не травящейся светлой полосой, может оказывать разупрочняющее влияние на адгезионную прочность, поскольку является, как правило, местом локализации деформации и разрушения под прикладываемой нагрузкой. Зона термического влияния на стальной подложке не была выявлена. На фрактограмме наблюдаются зоны быстрого межкристаллитного развития трещины вблизи линии сплавления (рис. 1,г). Причиной разрушения покрытия, кроме дефектов и несплошностей, может являться существенное различие в коэффици-

ентах термического расширения материала подложки из стали 45 и легированного слоя наплавки 35В9ХЗФС. При этом поверхность покрытия более пластичная, о чем говорит ее ячеистая структура (рис. 1,в).

Для уменьшения влияния различия коэффициентов термического расширения (КТР) на уровень температурных напряжений между покрытием и стальной подложкой были разработаны составы порошковой проволоки, рассчитанные на получение композиционных покрытий на основе тугоплавких соединений с металлической связкой из стали 50, имеющей близкие с упрочняемой подложкой из стали 45 значения КТР. В качестве упрочняющей фазы использовали карбонитриды и алюмонитриды титана. Ниже в работе обсуждаются результаты исследования покрытий, наплавленных двумя экспериментальными составами порошковой проволоки, показавшие на практике хорошую технологичность и удовлетворительную износостойкость:

1- Сталь 50 + 6,8 мас. % Ti_xAl_yN ;

2- Сталь 50 + (4,8 мас. % TiC_xN_y + 2 мас. % Ti_xAl_yN).

На рисунке 2 представлены микроструктуры и фрактограммы покрытия, наплавленного порошковой проволокой состава 1 - Сталь 50 + 6,8 мас. % Ti_xAl_yN .

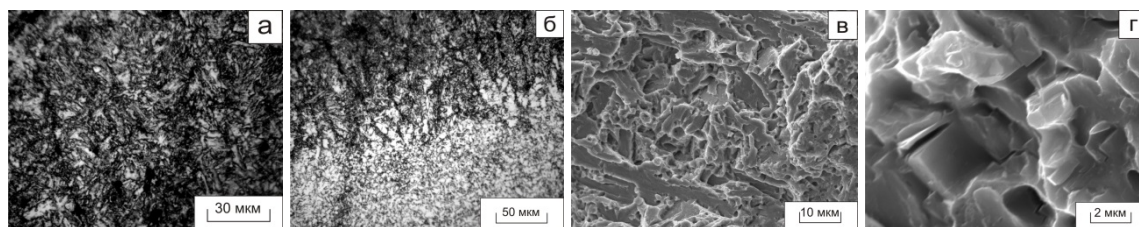


Рисунок 2 - Микроструктура и фрактограммы изломов покрытий, наплавленных порошковой проволокой состава «Сталь 50 - 6,8 мас. % Ti_xAl_yN »: а, в - приповерхностные участки покрытия; б - у границы раздела с подложкой из стали 45; г - частицы Ti_2AlN

По данным РФА, поверхность покрытия представлена фазами (об.): Fe- α (17,4%); FeAl (4,7%); Ti_2AlN (3,6%); $Ti_{0,2}Fe_{0,8}Al$ (74,3%). В микроструктуре покрытия наблюдается довольно широкая переходная зона, насыщенная мелкодисперсными частицами, концентрация которых увеличивается в направлении к поверхности, на которой можно наблюдать также зону ориентированных дендритов с не развитыми осями второго порядка (рис. 2,а). Из фрактографических снимков видно, что рельеф поверхности у границы раздела имеет ямочную структуру, которая свидетельствует, что окончательный долом происходил по механизму вязкого разрушения (рис. 2,г). Сопоставление морфологии и характера излома частиц, показывающих их расслоение под действием прикладываемых нагрузок позволяет предположить, что частицы с ламинарной структурой, представленные на рисунке 6, г, являются соединениями Ti_2AlN .

Металлографический анализ покрытий, наплавленных проволокой состава «сталь 50 - (4,8 мас. % TiC_xN_y - 2 мас. % Ti_xAl_yN)» показывает, что в результате относительно равномерного распределения мелкодисперсных тугоплавких соединений в металлической связке уменьшились размеры областей слоистой неоднородности по всему объему наплавки. Из представленных на рисунке 3 фрактограмм видно, что в покрытии наблюдается смешанный излом: хрупкий - по границам зерен и в местах концентрации вторичных фаз внутри зерна, вязкий - внутри зерен, свободных от

включений, и в перемышках между фасетками скола. На границе раздела с подложкой, где структура, в основном, состоит из дендритов α -твердого раствора, столбчато расположенных в направлении поверхности наплавки, реализуется хрупкий механизм разрушения путем зарождения и слияния микропустот.

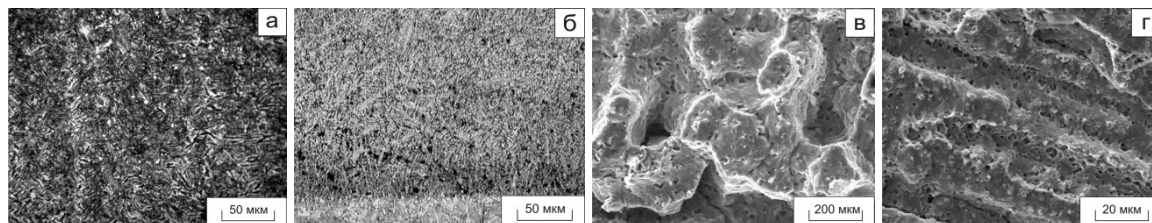


Рисунок 3 - Микроструктура и фрактограммы излома покрытия, наплавленного порошковой проволокой состава «Сталь 50 – (4,8 мас.%TiC_x N_y+2 мас.%Ti_xAl_yN)» на подложки из стали 45: а, в - приповерхностные участки покрытия; б, г - у границы раздела с подложкой.

Исследования показали, что, несмотря на то, что средние значения микротвердости по глубине стандартных и экспериментальных покрытий мало отличаются и колеблются в пределах 600÷700 ГПа, покрытия с карбонитридами и алюмонитридами титана превысили абразивную износостойкость наплавов, полученных порошковой проволокой 35B9X3ФС в 1,7 - 2,4 раза.

Заключение. Разработанные составы порошковой проволоки на основе высокоуглеродистой стали 50 с микродисперсными карбонитридами и алюмонитридами титана позволяют получать композиционные покрытия, обладающие повышенной износостойкостью рабочего слоя. Хорошие наплавочные свойства и механическая обрабатываемость позволяют рекомендовать их в качестве высокоизносостойких наплавочных материалов для деталей машин и механизмов, работающих в условиях абразивного износа, в частности, для деталей металлургического производства.

Список литературы

1. Богомолов Г.Д., Швейкин Г.П., Алямовский С.И., Зайнулин Ю.Г., Любимов В.Д. Физико-химические свойства оксинитридов и карбонитридов титана // Неорганические материалы. – 1971 – Т.VII - №1 – С. 67-72.
2. Sum Z.M. Progress in research and development on MAX phases: a family of layered ternary compounds // International mater. Rev. – 2011. – V. 56. – № 33. – P. 143–166.
3. Гальченко Н.К., Дампilon Б.В., Самарцев В.П., Белюк С.И. Формирование структуры и свойств композиционных литых покрытий, полученных электронно-лучевой наплавкой в вакууме // Литейщик России. - 2002. - №2. - С. 38 – 41.