ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии»

6–10 сентября 2021 г.
Томск, Россия

Томск – 2021
Издательство ТГУ

DOI: 10.17223/978-5-907442-03-0-2021-127

СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПОКРЫТИЙ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ДОБАВОК НАНОЧАСТИЦ КАРБОНИТРИДОВ ТИТАНА И УДАРНАЯ ВЯЗКОСТЬ КОМПОЗИЦИЙ ОСНОВА/ПОКРЫТИЕ

[1,2]Кузнецов П.В., [1]Гальченко Н.К., [1,3]Беляева И.В.
[1]Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск
[2]Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск
[3]Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск

В настоящее время большое внимание уделяется разработке новых технологий нанесения и совершенствования составов износостойких композиционных покрытий, работающих при пониженных температурах в условиях абразивного изнашивания и ударных нагрузок [1]. В работах [2,3] показано, что модифицирование наплавок наночастицами карбонитридов титана (TiCN) ведет к повышению механических свойств наплавленного металла по сравнению с наплавками серийными электродами за счет понижения температуры аустенит - ферритного превращения в область промежуточных превращений и образования более благоприятных мелкодисперсных структур бейнитного типа.

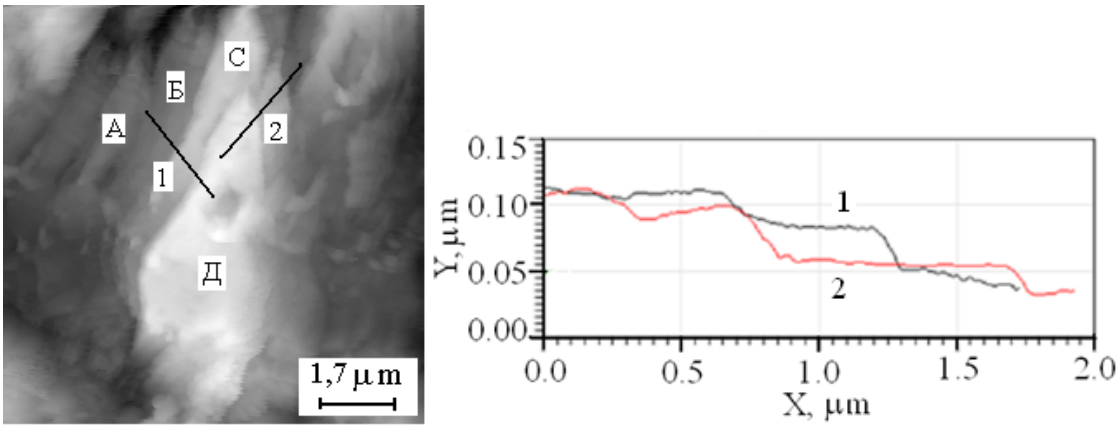
Целью настоящей работы является обобщение результатов исследования покрытий, модифицированных наночастицами TiCN с различным расчетным содержанием в диапазоне от 0.15 до 1 масс %, которые проводились в течение нескольких лет с целью обеспечения наиболее благоприятной структуры покрытий и высоких значений ударной вязкости композиции основа/покрытие.

В качестве подложки использовали низкоуглеродистую низколегированную сталь 09Г2С. Покрытия наплавляли ручным дуговым методом электродами МР-3 с модифицирующими присадками из нанодисперсных TiCN. Расчетное содержание TiCN в электродном покрытии составляло 0.15, 0.2, 0.25 и 1 мас.%. В качестве базы для сравнения использовали образцы с покрытиями, наплавленными серийными электродами МР-3. Ударные испытания образцов на изгиб на маятниковом копре INSTRON MPX 450 проводили на стандартных образцах размерами 55x10x10 мм3 с V –образным надрезом, вырезанных из полученных композиций основа/покрытие.

Исследование структуры покрытий проводили на образцах размером 10x10x1 мм^3, вырезанных параллельно плоскости наплавки методом электроэрозионной резки. Травление шлифов для выявления различных фаз в покрытиях проводили с помощью 4% спиртового раствора азотной кислоты в течение 5 сек. Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе Zeiss Axiovert 25. Тонкую микроструктуру покрытий исследовали с помощью сканирующего туннельного микроскопа SMMT-2000 (г.Зеленоград), работающем в режиме постоянного тока.

Результаты испытания композиций на маятниковом копре показали, что введение наночастиц в наплавку во всех случаях приводит более чем двукратному увеличению ударной вязкости по сравнению с аналогичной величиной для композиции, полученной с помощью стандартных электродов МР3. Оптическая микроскопия показала, что в наплавленных покрытиях наблюдается феррито-перлитная структура, отличающаяся дисперсностью структурных составляющих. С помощью оптической микроскопии измерены размеры ферритных и перлитных зерен и построены функции распределения их по размерам, из которых определены средние значения и дисперсия. Установлено, что модифицирование структуры наплавки наночастицами TiCN во всех случаях ведет к измельчению зерна по сравнению с наплавкой серийными электродами.

В покрытиях с добавками наночастиц TiCN с помощью СТМ выявлены структуры промежуточного превращения, которые не наблюдаются в наплавках серийными электродами. На рис.1а приведен пример структуры, наблюдавшейся в покрытии с расчетным содержанием 0.25 масс % TiCN и поперечные сечения (рис.1б) вдоль направлений, показанных отрезками линий 1,2 на рис. 1а.



а б

Рис. 1. Пакет пластин нижнего бейнита в наплавке с расчетным содержанием 0,25 масс % TiCN (а) и поперечные сечения (б), вдоль направлений, показанных отрезками линий 1,2 на рис. 1а.

Видно (рис. 1а), что структура образована из пакета пластин клиновидной формы, растущих от границы зерна и обозначенных буквами А, В, С, Д. СТМ исследования показали, что каждая пластина, в свою очередь, состоит из субъединиц, а субъединицы из субсубединиц. Эти результаты свидетельствуют об иерархически организованной структуре пластин, состоящей из структурных единиц разного масштаба типа sub-subunits. На поперечном сечении (рис.1б) видно, что поперечные сечения пластин Д, С и Б, (кривая 1) и Д, С (кривая 2) имеют плоские участки (террассы), протяженностью около 500 нм, которые заканчиваются ступеньками, высотой около 30-50 нм над уровнем террассы следующей пластинки Наблюдаемая иерархическая структура пакета пластин (рис.1а) и террасно-ступенчатая форма профилей пластин (рис. 1б) согласуется с механизмом симпатического зарождения и ступенчатого роста пластин нижнего бейнита по типу «плоскость на плоскости», предложенном в работе [3]. Это позволяет сделать вывод, что по совокупности морфологических признаков наблюдаемая структура может быть идентифицирована, как нижний бейнит. Подобные структры обнаружены также в наплавках с расчетным содержанием 0.15 и 0.2 масс% TiCN.

Повышение процентного содержания наночастиц TiCN в покрытиях до 1% ведет к уменьшению вероятности образования структуры нижнего бейнита в наплавке. В микроструктуре покрытий с 1 % TiCN выявляется другая структура промежуточного превращения аустенита - игольчатый феррит. Игольчатый феррит образуется внутри зерен на неметаллических включениях и, как и нижний бейнит, является благоприятной структурой для достижения высоких механических свойств наплавки.

В результате проведенного анализа результатов исследования микроструктуры покрытий с различным расчетным содержанием TiCN и ударной вязкости композиций основа/покрытие установлено, что оптимальное содержание (C_{TiCN}) наночастиц TiCN в покрытиях, вероятно, лежит в области 0,15 масс%< C_{TiCN}< 25 масс%.

Работа выполнена в рамках проекта государственного задания ИФПМ СО РАН.

1. P. Hedenqvist, M. Olsson & S. Hogmark (1992) Characterisation of Ti(C,N) and Tin Coatings on Powder Metallurgy High Speed Steels, Surface Engineering, 8:1, 39-47, DOI: 10.1179/sur.1992.8.1.39
2. Kuznetsov P.V., Galchenko N.K., Rakhmatulina T.V., Samartsev V.P., Kolesnikova K.A., Laptev R.S., Babikhina M.N. Scanning tunnel microscopy of coatings with titan carbonitride nanoparticles and their properties// AIP conf. 2017. V.1909. P.020114-1-020114-4.
3. Kuznetsov P. V., Galchenko N. K., Belyaeva I. V. Features of the coating structure with additives of titanium carbonitride nanoparticles and of the 09G2S steel heat affected zone// AIP Conference Proceedings 2310, 020178 (2020); https://doi.org/10.1063/5.0034315.
4. Fang H.-S., Yang J.-B., Yang Z.-G., Bai B.-Z.. The mechanism of bainite transformation in steels//Scripta Materialia 47 (2002) 157–162.