

УДК 621.791.927:669.018.25

В. Б. Литвиненко-Арьков, Г. Н. Соколов, Ф. А. Кязымов

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ТЕРМОСТОЙКОГО МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО ПОРОШКОВЫМИ ПРОВОЛОКАМИ С НАНОЧАСТИЦАМИ TiCN*

Волгоградский государственный технический университет

(e-mail: naplavka34@yandex.ru)

Исследовано влияние нанопорошка карбонитрида титана TiCN, вводимого состав наполнителя порошковых проволок, на структуру и свойства наплавленного металла, соответствующего по составу высокопрочным аустенитно-мартенситным сплавам на основе железа. Установлено, что применение таких материалов обеспечивает измельчение структуры наплавленного металла и способствует повышению стойкости к пластическому деформированию при высоких температурах.

Ключевые слова: наплавка, наплавленный металл, порошковые проволоки, микроструктура, нанопорошок.

The influence of nanopowder titanium carbonitride TiCN, entered the composition of powder filler wires to the structure and properties of the high-strength austenitic-martensitic weld metal based on iron had investigated. It is established that the use of such materials provides a structure refinement of weld metal and increases the resistance to plastic deformation at high temperatures.

Keywords: surfacing, weld metal, cored wires, microstructure, nanopowder.

* Работа выполнена при финансовой поддержке государственного контракта Минобрнауки № 16.740.11.0017.

Введение

Жаропрочные сплавы на основе железа, используемые для наплавки инструмента, испытывающего циклическое температурно-силовое воздействие, преимущественно имеют структуру легированного мартенсита с равномерно распределенной упрочняющей фазой [1]. Невысокая пластичность при рабочих температурах такого типа наплавленного металла обуславливает в ряде случаев его недостаточную стойкость к термической усталости. Более высокой стойкостью к образованию трещин термической усталости обладают сплавы с аустенитно-мартенситной структурой [2].

Необходимые значения жаропрочности и стойкости к термической усталости наплавленного металла можно обеспечить при увеличении содержания в его матрице дисперсной упрочняющей фазы и модифицировании структуры [3, 4].

Целью исследования является установление влияния тугоплавкого нанопорошка карбонитрида TiCN, введенного в состав наполнителя порошковых проволок, на структуру и свойства аустенитно-мартенситного наплавленного металла.

Материалы и методики исследований

В качестве базового химического состава экспериментальных образцов наплавленных сплавов использовали сталь 10X15H4AM3 (ВНС-5, ЭП310), легированную азотом и обладающую высокими прочностью и вязкостью,

а также низкой чувствительностью к концентраторам напряжений.

Для наплавки использовали порошковые проволоки с диаметром 2,6 мм и коэффициентом заполнения шихтой 46–47 %, которые изготавливали по известной технологии. Для легирования наплавленного металла азотом в состав шихты проволок вводили порошок азотированного хрома (ТУ 0840-024-21600649–2009), содержащего до 16 масс.% азота.

С целью равномерного распределения наночастиц TiCN в шихте проволоки использовали композиционный микropорошок, изготовленный в ИМЕТ им. А. А. Байкова РАН [5]. Он состоял из частиц никеля размером 40–60 мкм в количестве 70 % (масс.) с внедренными в них наночастицами TiCN с размером менее 100 нм в количестве 30 % (масс.).

Наплавку экспериментальных образцов металла на пластины из стали ст3пс производили дуговым способом колеблющимся электродом в среде аргона при следующих параметрах режима: сварочный ток (постоянный, полярность обратная) – 220–250 А, напряжение на дуге – 25–27 В, скорость поперечных перемещений электрода – 4,2 см/с, размах колебаний электрода – 25–30 мм, скорость наплавки – 0,2–0,3 см/с, вылет электрода – 35...40 мм, расход аргона – 15...18 л/мин. Получали качественно сформированный, бездефектный наплавленный металл толщиной 4–5 мм с долей участия металла основы 32–35 % (таблица).

Химический состав наплавленного металла, масс.%

Химический элемент	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	N
Содержание в наплавленном металле, масс.%	0,15–0,20	0,3–0,4	0,2–0,4	14,5–15,0	4,0–4,5	2,5–2,8	0,01–0,12	0,16–0,18

Стойкость наплавленного металла к пластической деформации при высоких (до 950 °С) температурах оценивали по результатам склерометрических испытаний образцов, нагретых проходящим током в атмосфере аргона. Критерием стойкости металла к деформированию служила величина I, обратная объему металла, выдавленного из трека индентором Роквелла при скрайбировании полированной поверхности на участке длиной 10 мм [6]. Измерение профиля каждого трека производили в пяти сечениях с использованием сканирующего зондового микроскопа Solver Pro.

Металлографические исследования производили известными методами дюротрии и микроскопии с использованием светового микроскопа Axiovert 40MAT. Химический состав наплавленного металла контролировали оптико-эмиссионным спектрометром PMI-Master Pro.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Установлено, что при содержании частиц TiCN в проволоках свыше 0,2 масс.% реализуется эффект модифицирования структуры наплавленного металла, выраженный в резком

уменьшении среднего размера зерна в 2,0–2,5 раза (рис. 1, *а*, *б*). Можно предположить, что частицы карбонитрида титана, обладающие высокой термодинамической стабильностью, подвергаясь незначительному растворению в металлическом расплаве, переходят из шихты проволоки в сварочную ванну, воздействуя на кинетику кристаллизации наплавленного металла (рис. 1 и 2).

Исследованиями структур показано, что повышенное (более 0,5 масс.%) содержание нанодисперсного порошка TiCN в шихте проволоки приводит к формированию в модифицированной структуре наплавленного металла сравнительно крупных (до 2 мкм) включений карбонитрида титана. Такие включения имеют естественную природу, и их происхождение обусловлено расплавлением наиболее мелких (менее 30 нм) частиц нанодисперсного порошка, температура плавления которых может быть менее 2400 °С [7]. Этот процесс вероятно протекает на стадии плавления и переноса электродного металла, когда температура капель достигает 2500 °С.

Известно, что наличие в структуре металла

крупных (более 2 мкм) включений карбонитрида титана может рассматриваться как формирование концентраторов напряжений, существенно снижающих его усталостную прочность. Поэтому содержание исходного нанодисперсного порошка в шихте проволоки не должно быть более 0,5 масс.%

Склерометрические испытания образцов в диапазоне температур 750–950 °С показали, что металл, наплавленный проволоками, содержащими нанодисперсный порошок карбонитрида титана, обладает повышенным сопротивлением к пластической деформации. Причем с увеличением содержания нанодисперсного порошка в проволоке это сопротивление возрастает, что обусловлено ростом количества дисперсной нитридной фазы и измельчением зерна (рис. 3, кривые 1, 2 и 3). При увеличении количества нанодисперсных частиц в проволоке более 0,5 масс.% наблюдается снижение сопротивления высокотемпературному деформированию наплавленного металла (рис. 3, кривая 4), что может быть вызвано чрезмерным укрупнением части карбонитридов и снижением их вклада в дисперсионное упрочнение матрицы.

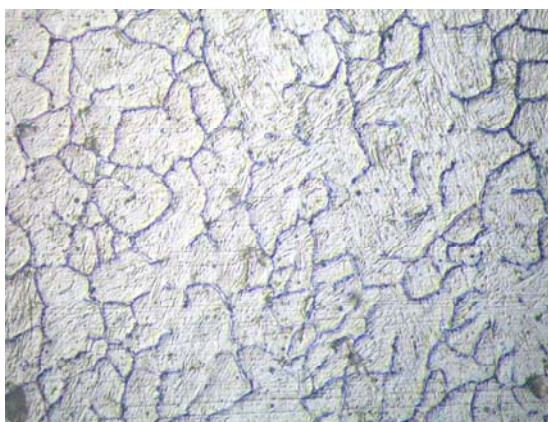
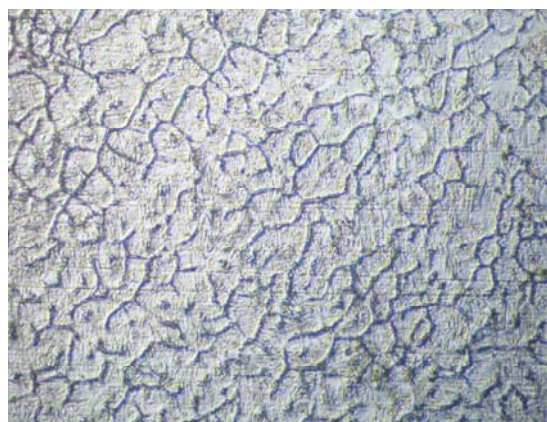
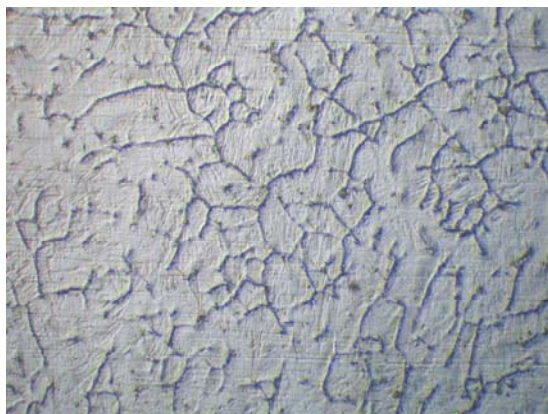
*а**б**в*

Рис. 1. Микроструктуры наплавленного металла $\times 1000$: *а* – в исходном состоянии; *б* – при 0,4 масс.% TiCN; *в* – при содержании в проволоке порошков титана, графита и азотированного хрома в эквивалентном для получения TiCN соотношении

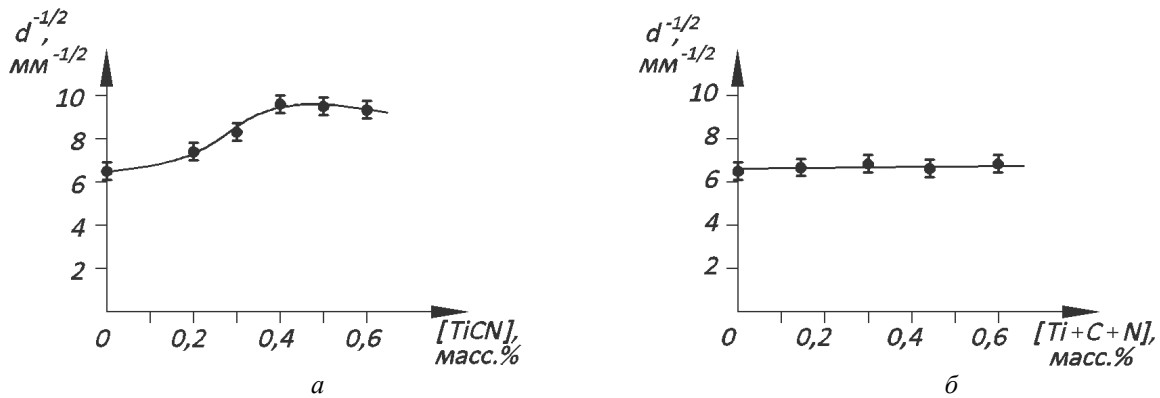


Рис. 2. Зависимость среднего размера зерна от содержания нанопорошка TiCN (а) и смеси порошков Ti+N+C в стехиометрическом соотношении (б) в шихте проволоки

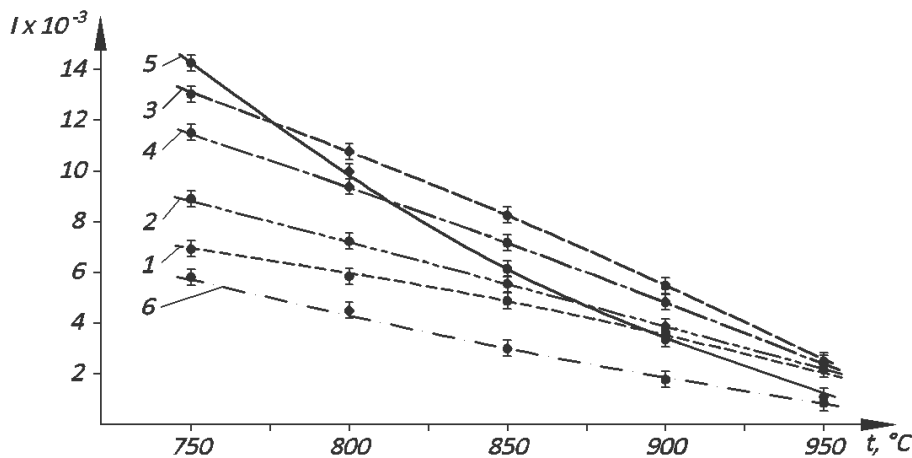


Рис. 3. Зависимость показателя сопротивления наплавленного металла пластической деформации I от температуры испытаний:

1 – исходный состав наплавленного металла без наночастиц TiCN; 2, 3, 4 – 0,2, 0,4 и 0,6 масс.% нанопорошка TiCN в наплавочных проволоках соответственно; 5 – сплав DualHard W/A DN-S (03X13H5K2AMBFCГ); 6 – сталь 20XH4ФА

Выводы

1. Установлено, что при введении 0,2–0,5 масс.% нанопорошка TiCN в шихту порошковых проволок происходит 2,0–2,5 кратное измельчение зерна наплавленного металла.

2. Содержание в наплавленном металле нанодисперсных и микродисперсных частиц TiCN обеспечивает его повышенную стойкость к пластическому деформированию при высоких (750–950 °C) температурах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соколов, Г. Н. Наплавка износостойких сплавов на прессовые штампы и инструмент для горячего деформирования сталей: монография / Г. Н. Соколов, В. И. Лысак; ВолгГТУ. – Волгоград, 2005. – 284 с.
 2. Микаэлян, Г. С. Порошковая проволока для наплавки металла с повышенным сопротивлением усталости / Г. С. Микаэлян, В. Г. Васильев, Т. А. Корниенко // Оборудование и материалы для наплавки: сб. науч. тр. – Киев: ИЭС им. Е. О. Патона. – 1990. – 124 с.

3. Миннеханов, Г. Н. Влияние модифицирования наночастицами карбонитрида титана на структуру и свойства наплавленного металла / Г. Н. Миннеханов, О. А. Шуйкин, Р. Г. Миннеханов // Омский научный вестник. – 2009. – № 1. – С. 22–25.

4. Артемьев, А. А. Влияние микрочастиц диборида титана и наночастиц карбонитрида титана на структуру и свойства наплавленного металла / А. А. Артемьев, Г. Н. Соколов, В. И. Лысак // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2011. – № 12. – С. 32–37.

5. Самохин, А. В. Плазмохимические процессы создания нанодисперсных порошковых материалов / А. В. Самохин, Н. В. Алексеев, Ю. В. Цветков // Химия высоких энергий. – 2006. – Т. 40. – № 2. – С. 120–126.

6. Лебедев, Е. И. Исследование высокотемпературных свойств наплавленного металла методом склерометрии / Е. И. Лебедев, Г. Н. Соколов, И. В. Зорин, В. И. Лысак, С. Н. Цурихин // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2006. – № 1. – С. 40–44.

7. Григоров, И. Г. О зависимости температуры плавления нанодисперсного карбонитрида титана от радиуса частиц / И. Г. Григоров, Ю. Г. Зайнулин // Преспективные материалы. – 2007. – № 6. – С. 60–63.