



ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА С ПОВЫШЕННОЙ ДОЛЕЙ КАРБИДОВ ТИТАНА

В. Н. КАЛЬЯНОВ, д-р техн. наук, А. Н. ПЕТРЕНКО, инж. (Укр. инж.-педагог. акад., г. Харьков)

Приведены результаты лабораторных испытаний на износостойкость и технологическую прочность трех типов наплавленного металла (боротитанового, аустенитно-мартенситного и мартенситно-аустенитного). Показано, что наилучший комплекс свойств имеют стали с высоким содержанием метастабильного аустенита, упрочненные дисперсными выделениями карбидов титана.

Ключевые слова: абразивная износостойкость, карбидная фаза, карбид титана, технологическая прочность, самозащитная порошковая проволока, боротитановый наплавленный металл, метастабильный аустенит

Стойкость наплавленного металла против абразивного изнашивания во многом определяется твердостью, структурным состоянием и степенью легирования основы, а также составом, количеством и твердостью упрочняющей карбидной (карбонитридной, карборидной, интерметаллидной) фазы. Увеличение доли карбидной фазы до некоторого предела повышает износостойкость. При этом изменение количества карбидной фазы оказывает более существенное влияние на износостойкость, чем агрегатная твердость, полученная только путем увеличения твердости матрицы. Износостойкость также возрастает с повышением твердости упрочняющей фазы [1–5]. Карбид титана TiC относится к термодинамически стойким карбидам, имеет высокую температуру плавления и твердость (около 32 ГПа). При этом стоимость ферротитана в сравнении с ферросплавами других сильных карбидообразующих элементов (ванадия, вольфрама и др.) ниже, к тому же он менее дефицитен.

Введение легирующих элементов в наплавленный металл для повышения износостойкости может привести к снижению технологической прочности и эксплуатационных показателей. Особенно сильно понижает указанные свойства углерод [6]. Целью работы является исследование износостойкости и технологической прочности наплавленного металла различных структурных классов, содержащего значительную долю термодинамически стойких карбидов.

Изученный в работе наплавленный металл можно разделить на три группы: боротитановый (180ТЗР, 250ХЗТЗНР и др.), аустенитно-мартенситный (100Х10Г10Т4С, 100Х10Г8Т4С, 75Х6Г9МЗТЗС), мартенситно-аустенитный (150Х6Т4М [1], 100ХЗГ9Т4С). Для наплавки металла указанных составов изготовлены соответствующие самозащитные порошковые проволоки. Наплавку образцов проводили на пластины из сталей 20, 45, 5ХНМ без предварительного подогрева. Перед испытаниями рабочие поверхности образцов (диаметром 10 мм, длиной 35 мм) шлифовали и притирали. Испытания на износос-

тойкость проводили при возвратно-поступательном движении по карборундовой абразивной шкурке с размером зерна абразива 200...160 и 80...63 мкм, номинальное давление 1,37 МПа. Скорость движения образца по поверхности шкурки 0,086 м/с. Разогрев образцов при испытании незначителен. В качестве эталона для испытания принят образец из стали 45 с твердостью примерно *HV* 200. Износ определяли как отношение потери массы эталона к потере массы исследуемого материала. Дополнительно к этому исследовали микротвердость на поверхности после изнашивания (*P* = 0,5 и 1 Н) и вблизи поверхности трения на «косых» шлифах (таблица). Стойкость к образованию горящих трещин (с учетом содержания легирующих и примесных элементов, мас. %) определяли по значению критерия

$$H.C.S. = \frac{C(S + P + \frac{Si}{25} + \frac{Ni}{100}) 10^3}{3Mn + Cr + Mo + Ti}$$

и на машине ЛТП-6 [7], склонность к образованию холодных трещин — согласно ГОСТ 26388–84.

Для наплавленного металла первой группы с увеличением содержания бора доля борсодержащей эвтектики и ее микротвердость возрастают [5]. Ввиду возможного образования лег-

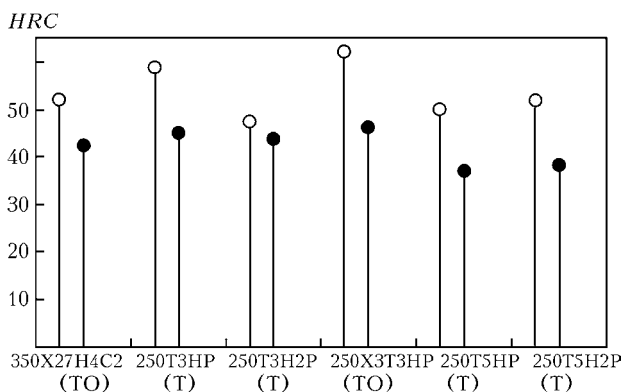


Рис. 1. Твердость наплавленного металла при 293 (○) и 873 К (●) (Т — трещины; ТО — трещины и отрывы в зоне сплавления)

© В. Н. Кальянов, А. Н. Петренко, 2004

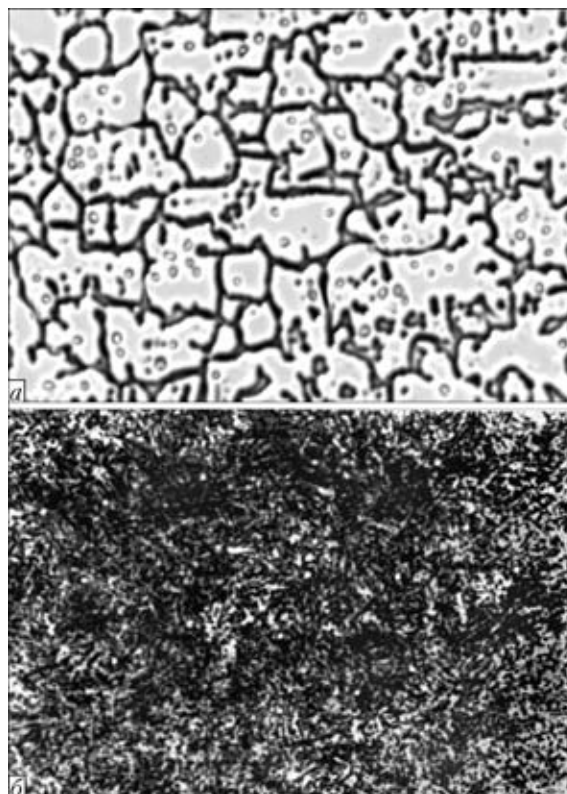


Рис. 2. Микроструктура наплавленного металла, X600: а — 100Х10Г10Т4С; б — 100ХЗГ9Т4С



Свойства наплавленного металла

Тип наплавленного металла	Микротвердость вблизи поверхности изнашивания, МПа	Относительная износостойкость, ε	Твердость HRC	Фазовый состав	Критерий трещиностойкости Н.С.С.
30X10Г10	10200	2,51	29	A + M	0,68
100X3Г9Т4С	4300	2,05	35...40	M + A + K	2,70
150X6Т4М	10800	6,61	54...56	M + A + K	12,5
100X10Г10Т4С	11500	6,97	35...37	A + M + K	2,27
100X10Г8Т4С	8800	6,71	36...39	A + M + K	2,63
75X6Г9М3Т3С	9300	5,98	—	A + M + K	2,03

коплавких эвтектик Fe–В и значительного содержания углерода в продуктах распада твердого раствора этот металл обладает значительной склонностью к образованию различного вида трещин и отрывов в зоне сплавления (рис. 1). Структура последней — «светлая полоса» с игольчатым строением. Согласно данным работы [5] металл типа 250ХЗТЗНР, 250Т5Н2Р имеет более высокую износостойкость по сравнению с металлом 350Х27Н4С2. Достоинством металлов данной группы является их низкая стоимость, недостатком — склонность к образованию трещин при наплавке.

Вторая группа представляет собой наплавленный металл с высокой долей метастабильного аустенита (100Х10Г8Т4С, 75Х6Г9М3Т3С). Особенностью этих материалов является то, что соотношение содержания титана к углероду не менее 4 (т. е. такое, при котором большая часть углерода связана в карбиды). Основная доля карбидов титана, вероятно, образуется еще в жидком металле [1]. При дальнейшем охлаждении кристаллизуется низкоуглеродистый металл, что при значениях критерия Н.С.С. равны 2,03...2,63 обеспечивает более высокие показатели технологической прочности по сравнению с материалами I и II групп [7]. Высокая износостойкость наплавленного металла обеспечивается наличием твердой высокодисперсной карбидной фазы и высокой степенью упрочнения марганцевого метастабильного аустенита. Фазовый состав — аустенит, карбиды и, как правило, небольшая доля мартенсита (таблица, рис. 2, а).

С увеличением содержания хрома до 10 % (при 8...10 % Mn) значение показателя относительной износостойкости возрастает и для наплавленного металла 100Х10Г8Т4С, 75Х6Г9М3Т3С с аустенитно-мартенситной структурой соответственно составляет 6,71 и 5,98. При повышении содержания марганца с 8 до 10 % (100Х10Г10Т4С) относительная износостойкость незначительно увеличивается.

Для металла типа 100Х3Г9Т4С (третья группа) с фазовым составом мартенсит, остаточный аустенит, карбиды титана (рис. 2, б) характерны невысокая твердость, отсутствие трещин. Однако при этом наплавленный металл имеет сравнительно низкую износостойкость ($\epsilon = 1,8...2,4$), что, видимо, связано с невысокой сопротивляемостью абразивному изнашиванию низкоуглеродистой мартенситной матрицы. Наплавленный металл типа 150Х6Т4М имеет приблизительно такое же количество карбидной фазы, но более твердую, упрочненную углеродом, матрицу. В результате металл имеет высокую твердость (HRC 54...56) и износостойкость ($\epsilon = 6,61$).

The paper gives the results of laboratory studies of wear resistance and technological strength of three types of deposited metal (boron-titanium austenite-martensite and martensite-austenite). It is shown that steels with a high content of metastable austenite strengthened by dispersed precipitations of titanium carbides have the best complex of properties.

Поступила в редакцию 25.05.2004

Производственные испытания ковшей роторной пескометной установки, наплавленные сталью 100Х10Г10Т4С, показали более высокую стойкость последних по сравнению с ковшами, наплавленными сталью 10Х13, 10Х20Н10Б, 300Х27Н4С3, 320Х22ТР.

Выводы

1. Высокомарганцевый наплавленный металл, упрочненный карбидами титана (при соотношении $Ti/C \geq 4$), обладает достаточно высокими показателями свариваемости, что позволяет проводить наплавку без подогрева.
2. Наиболее высокие показатели абразивной износостойкости (в данном диапазоне концентраций легирующих элементов) достигаются при получении в наплавленном металле аустенитной либо аустенитно-мартенситной структуры.
3. Мартенситный (250ХЗТЗНР) и мартенситно-аустенитный (150Х6Т4М) наплавленный металл характеризуется высокой износостойкостью и сравнительно низкой стоимостью, при этом технологическая прочность невысока.

1. Рязцев И. А., Кондратьев И. А., Васильев В. Г. Износостойкость наплавленного металла системы легирования Fe–C–Cr–Ti–Mo // Автомат. сварка. — 2002. — № 4. — С. 48–51.
2. Данильченко Б. В. Стойкость наплавленного металла, предназначенного для работы в условиях абразивного изнашивания // Свароч. пр-во. — 1992. — № 4. — С. 31–33.
3. Кальянов В. Н., Муратов В. А., Почепцов А. В. Теплостойкость и износостойкость боротитанового наплавленного металла // Там же. — 1970. — № 6. — С. 21–23.
4. Кальянов В. Н. Структура и характеристики износостойкого экономнолегированного наплавленного металла // Там же. — 1997. — № 4. — С. 13–17.
5. Кальянов В. Н., Петренко А. Н. Износостойкий наплавленный металл системы C–B–Ti–Ni // Висн. ХДТУСГ. — 2004. — Вып. 26. — С. 353–356.
6. Гук В. А. Материалы и технологии наплавки деталей машин, работающих в условиях ударно-абразивного изнашивания // Автомат. сварка. — 2000. — № 8. — С. 13–14.
7. Кальянов В. Н., Багров В. А. Свариваемость наплаваемых мартенситных сталей с инструментальными сталями // Свароч. пр-во. — 1998. — № 4. — С. 14–15.