



СВОЙСТВА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА

Г. Н. СОКОЛОВ, канд. техн. наук (Волгоград. гос. техн. ун-т, РФ)

Рассмотрены вопросы рационального легирования наплавленного металла системы Ni-Cr-Mo-Nb-C для упрочнения металлургического инструмента, работающего при температурах до 900 °С. Исследовано влияние содержания молибдена и ниобия на высокотемпературную твердость, склонность к образованию горячих трещин и жаростойкость наплавленного металла.

Ключевые слова: дуговая наплавка, высоколегированный наплавленный металл, высокотемпературная прочность, жаростойкость, горячие трещины, порошковая проволока

Для износостойкой наплавки металлургического инструмента, испытывающего циклическое температурно-силовое воздействие (ЦТСВ) при максимальной температуре до 900 °С в месте контакта с заготовкой предпочтительны сплавы с высокой стойкостью к гомогенизации структуры [1]. В этом отношении перспективен наплавленный металл на основе никеля, коэффициенты диффузии атомов основы, легирующих и примесных элементов в котором при 900 °С малы и составляют около $1 \cdot 10^{-13}$ см²/с [2]. Особенно эффективны сплавы с высокой энергией активации диффузии, что обеспечивается легированием их ограниченно растворимыми в никеле хромом, молибденом и углеродом [3, 4]. Однако стойкость такого наплавленного металла к образованию горячих трещин, как показала экспериментальная проверка, невелика. Причиной образования трещин являются большое содержание выделяющихся по границам зерен эвтектических карбидов $Me_{23}C_6$, Mo_2C и крупных карбидов типа Me_7C_3 . Улучшить технологические свойства углеродистого наплавленного металла можно его легированием более активными по сравнению с хромом и молибденом карбидообразователями, например ниобием [5]. В связи с этим исследовано влияние соотношения легирующих элементов на высокотемпературную твердость, скорость окисления, склонность к образованию горячих трещин металла системы Ni-Cr-Mo-C-Nb, наплавленного порошковыми проволоками аргонодуговым и электрошлаковым способами.

Высокотемпературную твердость наплавленного металла измеряли на приборе ТШ-2 твердосплавным шариком диаметром 5 мм при нагрузке 7,35 кН и выдержке 10 с. Скорость окисления определяли после выдержки образцов в электропечи с температурой 900 °С в течение 2 ч. Склонность к горячим трещинам оценивали по их количеству в металле пятислойного валика при аргонодуговой наплавке.

Оболочку порошковой проволоки из никелевой ленты НП-2 изготавливали двухслойной со смещением стыков относительно друг друга с целью улучшения технологической надежности проволоки при высоком (до 60 %) коэффициенте заполнения ее шихтой [6]. В качестве шихтовых материалов использовали металлические порошки никеля, молибдена, хрома, а также графит и феррониобий ФН-1, содержащий примеси титана, алюминия и тантала, которые, являясь активными раскислителями, повышают качество наплавленного металла. Металлографические исследования наплавленного металла проводили известными методами, рентгеноспектральный анализ выполняли на приборе СAMEСА MS-46 с диаметром микрозонда 1 мкм.

Диапазон легирования экспериментальных наплавов следующий, мас. %: 1,58... 2,84 Cr; 19,6... 24,5 Cr; 2,85... 9,5 Mo; 0,65... 2,86 Nb. Содержание других элементов, мас. %: 0,60... 0,85 Si; 3... 5 Fe; 0,4... 0,6 Mn; 0,012... 0,015 S; 0,004... 0,005 P; Ni — основа.

Выбранный диапазон легирования наплавленного металла обусловлен эксплуатационными и технологическими требованиями к нему. Количество углерода определено исходя из возможности обеспечения атомного соотношения карбидообразующих элементов и углерода не менее стехиометрического, при котором образуются специальные карбиды MoC и NbC , а также по экспериментальным данным [7]. Пределы легирования по хрому определены из расчета получения максимальной жаростойкости металла. Экспериментом установлено, что увеличение содержания хрома до 30 мас. % и более не приводит к существенному повышению жаростойкости сплавов рассматриваемой системы легирования, а сказывается лишь на приросте их твердости при нормальной температуре, что ухудшает обрабатываемость металла после наплавки. Верхние пределы легирования молибденом и ниобием обусловлены наличием большого содержания (до 60 об. %) в наплавленном металле упрочняющих фаз, что существенно влияет на пластичность и его стойкость к трещинообразованию при наплавке. При уменьшении содержания молибдена

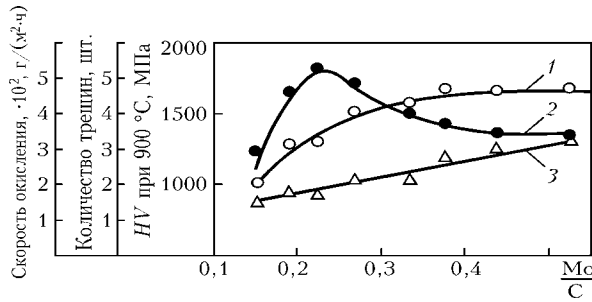


Рис. 1. Влияние отношения молибдена к углероду на свойства наплавленного металла с 22...24 мас. % Cr и 1,4...1,8 мас. % Nb; 1 — склонность к образованию горячих трещин; 2 — высокотемпературная микротвердость; 3 — скорость окисления

и ниобия до нижнего предела резко снижается высокотемпературная твердость сплавов.

Исследованиями установлено (рис. 1), что при соотношении содержащихся в наплавленном металле молибдена и углерода в пределах 0,18...0,25 ат. % достигается достаточно высокий уровень его свойств для работы в условиях ЦТСВ при температуре в зоне контакта с деформируемым металлом до 900 °С. Структура такого сплава состоит из твердого раствора на основе никеля, карбидов NbC и MoC, а также двух видов карбидной эвтектики с микротвердостью HV 350 и HV 400. Показано, что при содержании ниобия 1,8...2,5 мас. % обеспечиваются хорошая стойкость наплавленного металла против образования горячих трещин и максимальная высокотемпературная твердость (рис. 2). Такое влияние ниобия связано с его сильной ликвиацией, вызванной карбидообразованием (рис. 3), что приводит к измельчению зерна, дроблению

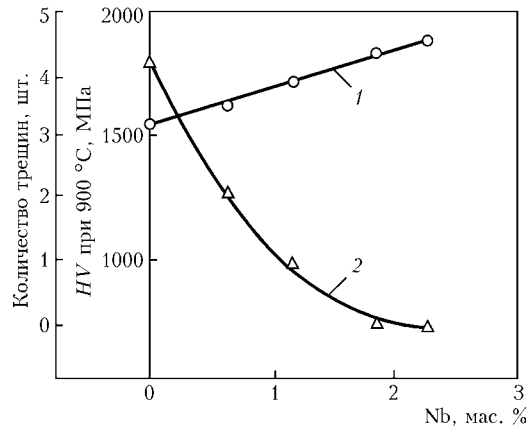


Рис. 2. Влияние ниобия на высокотемпературную твердость (1) и стойкость наплавленного металла против образования горячих трещин (2) при следующем содержании элементов, мас. %: 22...24 Cr; 4,5...4,8 Mo; 2,0...2,5 C

карбидной эвтектики и обуславливает относительно равномерное распределение кремния в эвтектике и зернах металла (рис. 4). Молибден также распределен равномерно, что объясняется сильной химической связью его с никелем и является одной из причин повышенной жаропрочности таких сплавов в сравнении с наплавленным металлом, содержащим вольфрам вместо молибдена.

Повышение соотношения атомов молибдена и углерода свыше 0,25 приводит к образованию в металле карбидов Mo₂C, термодинамически менее устойчивых, чем MoC. Высокотемпературная твердость и жаростойкость наплавленного металла в этом случае уменьшаются, а склонность к образованию горячих трещин возрастает. Уменьшение

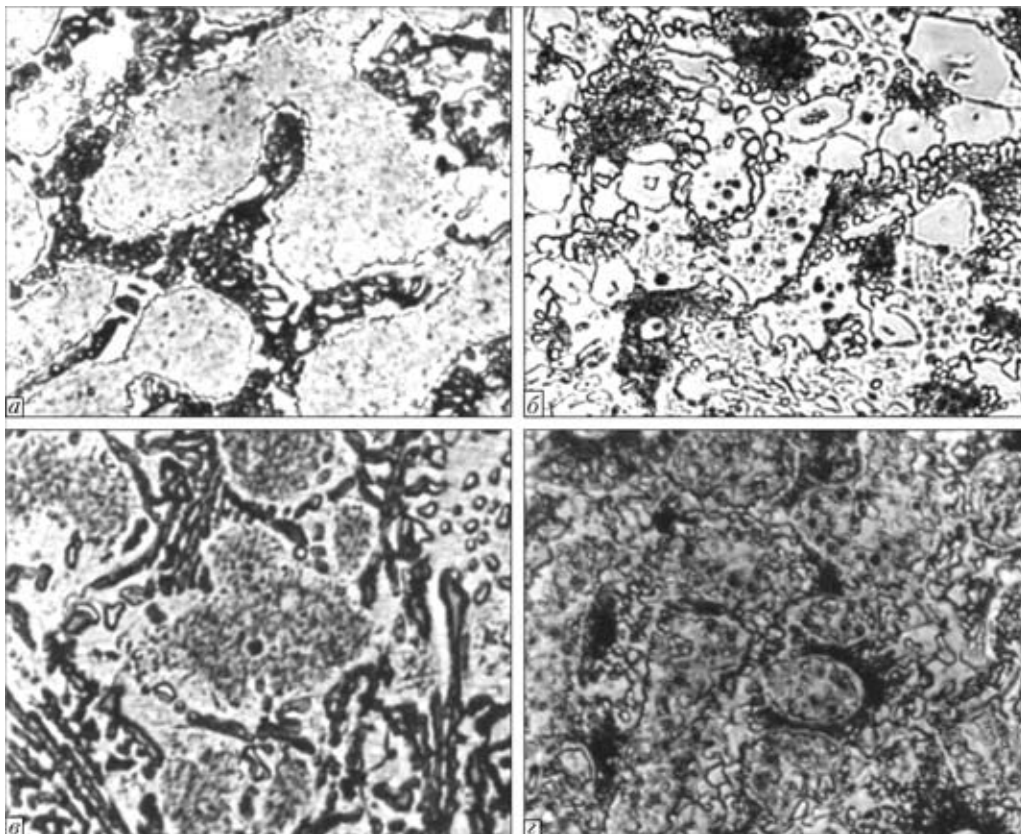


Рис. 3. Микроструктура (X600) наплавленного металла без ниобия (а) и с содержанием ниобия соответственно 1,1; 1,82; 2,35 мас. % (б-г)

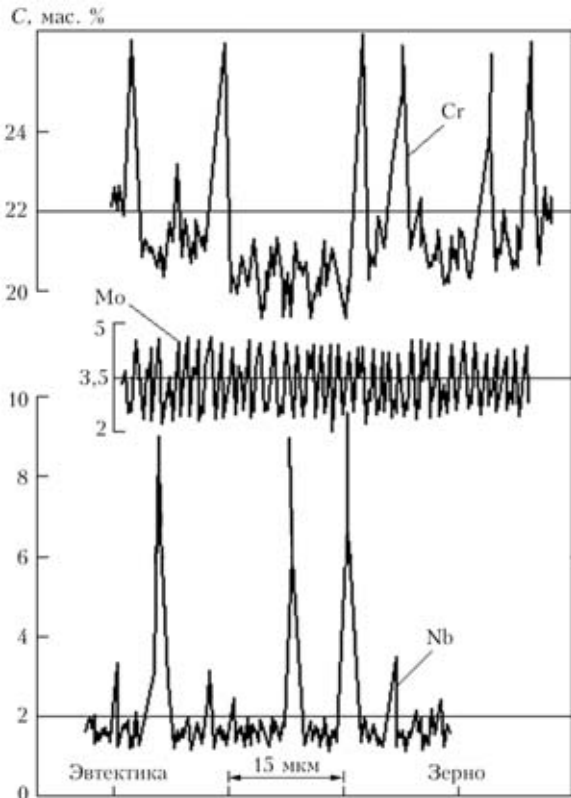


Рис. 4. Распределение C легирующих элементов в наплавленном металле

жаростойкости можно объяснить образованием на поверхности металла легковозгоняемого оксида молибдена. Трещинообразование увеличивается в результате роста объемного содержания эвтектических карбидов.

В модельных условиях ЦТСВ (изменение температуры 150...900 °С; усилие — 300 МПа; время контакта без учета пауз — 2 с; количество циклов испытания — 500) испытывали металл следующего химического состава, мас. % : 2,55 С; 4,5 Мо; 22,5 Сг; 2,1 Nb; Ni — основа. После испытаний заметного изменения структуры и свойств наплавленного металла не обнаружено. Незначительно (на HV 50...60) по сравнению с исходной (HV 400...420) увеличилась твердость за счет распада твердого раствора и образования вторичных карбидов (рис. 5).

Разработанный состав порошковой проволоки [8] (тип наплавленного металла 250X22H66M4B2) прошел промышленные испытания при наплавке режущих кромок ножей для резки горячего металла, носков оправок трубопрокатного агрегата, прессовых штампов горячего деформирования металлов. Получено повышение износостойкости наплавленного инструмента в 2,0...2,5 раза по сравнению с промышленными типами наплавленного металла системы Fe-C-Cr-W-Mo.

Issues associated with rational alloying of deposited metal of the Ni-Cr-Mo-Nb-C system to provide hardening of metallurgical tools operating at temperatures of up to 900 °C are considered. The effect of the molybdenum and niobium content on high-temperature hardness, sensitivity to hot cracking and heat resistance of deposited metal has been studied.

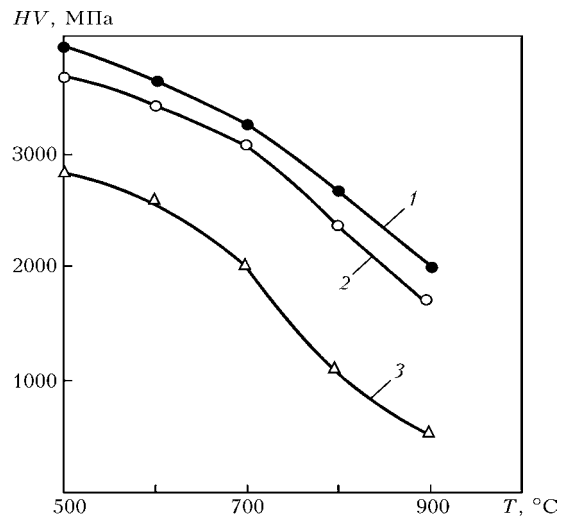


Рис. 5. Влияние температуры испытаний на высокотемпературную микротвердость наплавленного металла: 1 — Хастеллой С; 2 — 250X22H66M4B2; 3 — 30X2B8ФС

Выводы

1. Для упрочнения металлургического инструмента, работающего при температурах до 900 °С, предложен наплавленный металл системы легирования Ni-Cr-Mo-Nb-C. Установлено, что для обеспечения высоких технологических и эксплуатационных свойств наплавленного металла такого типа соотношение содержания молибдена и углерода в нем должно находиться в пределах 0,18...0,25.

2. Увеличение соотношения Мо/С более 0,25, как и повышение содержания молибдена в наплавленном металле свыше 5,0...5,5 мас. % не дает роста его высокотемпературной твердости, обуславливает снижение жаростойкости и стойкости к образованию горячих трещин.

1. Гордань Г. Н., Соколов Г. Н., Кащенко Ф. Д. Характер разупрочнения наплавленного металла при импульсном термосиловом воздействии // Автомат. сварка. — 1988. — № 10. — С. 59-62.
2. Шильев А. Я. Диффузионные процессы в сплавах. — М.: Наука, 1975. — 226 с.
3. Whelan E. Hardness and abrasive wear resistance of Ni-Cr-Mo-C hard-facing alloys // J. Metals. — 1979. — 31, № 1. — P. 15-19.
4. Hiekl A. An alternate to cobalt base hard-facing alloys // Ibid. — 1980. — 32, № 3. — P. 6-12.
5. Подгаецкий В. В., Парфессо Г. И. Трещины сульфидного происхождения при сварке сталей. — Киев: Наук. думка, 1977. — 150 с.
6. А. с. 1722756 СССР, МКИ³ В 23 К 35/40. Способ изготовления порошковой проволоки для сварки и наплавки / Г. Н. Соколов, Б. В. Маркин, Н. Ю. Тарасова. — Бюл. № 12.
7. Соколов Г. Н. Влияние соотношения хрома, молибдена и углерода на структуру и свойства наплавленного металла системы Fe-Cr-Mo-C // Свароч. пр-во. — 2000. — № 11. — С. 3-5.
8. А. с. 1123217 СССР, МКИ³ В 23 К 35/36. Состав порошковой проволоки для наплавки / Г. Н. Соколов, И. И. Фруммин, А. А. Филошин. — Бюл. № 24.

Поступила в редакцию 23.03.2004