



## ПОРОШКОВАЯ ПРОВОЛОКА ДЛЯ НАПЛАВКИ СЛОЯ МАРТЕНСИТНОСТАРЕЮЩЕЙ СТАЛИ

И. А. КОНДРАТЬЕВ, И. А. РЯБЦЕВ, Я. П. ЧЕРНЯК, кандидаты техн. наук  
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Разработана порошковая проволока ПП-АН204, обеспечивающая получение наплавленного металла типа мартенситностареющей стали системы легирования Fe–Ni–Mn–Si–Mo. Твердость металла после наплавки  $HRC\ 29\text{--}30$ , что позволяет без затруднения производить обработку резанием, а после отпуска его твердость возрастает до  $HRC\ 50$ . Наплавленный металл после отпуска имеет высокую горячую твердость, термостойкость и износостойкость при трении металла по металлу при повышенных температурах, что позволяет рекомендовать его для упрочнения рабочих поверхностей штампового инструмента сложной формы.

*Ключевые слова:* дуговая наплавка, наплавленный металл, мартенситностареющая сталь, порошковая проволока, горячая твердость, износостойкость, термостойкость

Стали и сплавы с эффектом вторичного твердения в результате отпуска в определенном температурно-временном диапазоне достаточно широко применяются в различных отраслях промышленности [1, 2]. Подобные материалы (в частности, мартенситностареющие стали) предлагалось использовать и в наплавочном производстве в основном для восстановления и упрочнения инструментов горячего деформирования металлов [3–5]. Однако ввиду того, что у большинства этих материалов увеличение твердости составляет всего  $HRC\ 10\text{--}15$ , они не нашли широкого применения в промышленности. Кроме того, некоторые из них имели значительную первоначальную твердость  $HRC$  свыше 40 или высокую стоимость, так как были легированы дорогостоящими элементами (вольфрамом, кобальтом, молибденом), общее содержание которых достигало 20 % и более.

В работе [6] показано, что у экономнолегированного наплавленного металла системы Fe–Ni–Mn–Si–Mo наблюдается значительный эффект

вторичного твердения (твердость после наплавки  $HRC\ 29\text{--}30$ , после отпуска  $HRC\ 50\text{--}52$ ) и такой материал является перспективным для восстановления и упрочнения инструментов для горячего деформирования металлов. В данной работе приведены результаты исследования влияния многослойной наплавки на распределение твердости на границе сплавления соседних валиков и слоев, а также износостойкости, термической стойкости и горячей твердости наплавленного металла этой системы легирования.

При многослойной наплавке мартенситностареющих сталей в металле ЗТВ у границы сплавления соседних валиков и слоев в результате нагрева до температур  $480\text{--}500\text{ }^\circ\text{C}$ , обеспечивающих вторичное твердение, может наблюдаться неравномерность в распределении твердости, что ухудшит эксплуатационные свойства наплавленного металла и затруднит его механическую обработку.

Для исследования этих явлений провели многослойную наплавку пластин из стали Ст3 размерами  $20\times 50\times 200$  мм опытной самозащитной порошковой проволокой, обеспечивающей получение наплавленного металла типа мартенсит-

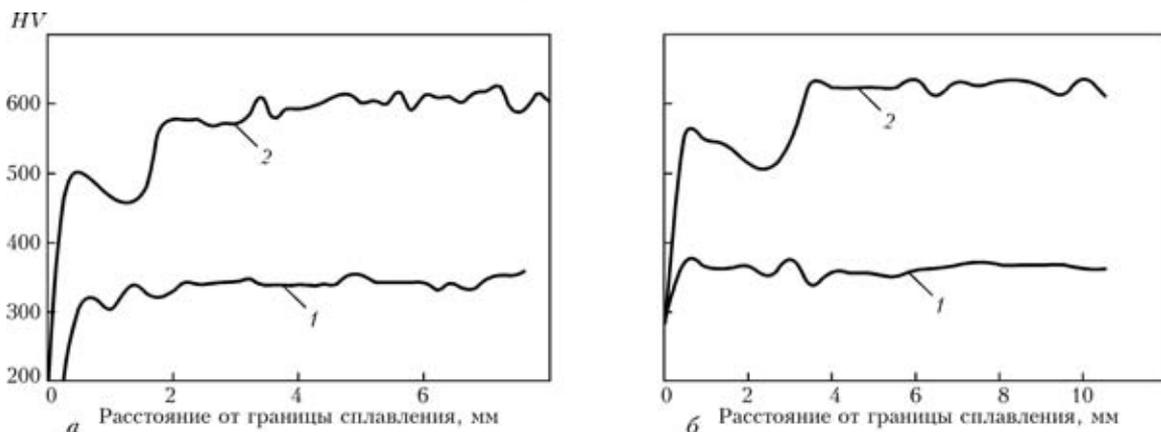


Рис. 1. Распределение микротвердости по глубине слоя мартенситностареющего наплавленного металла: а — перекрытие 30; б — 60 %; 1, 2 — соответственно до и после отпуска

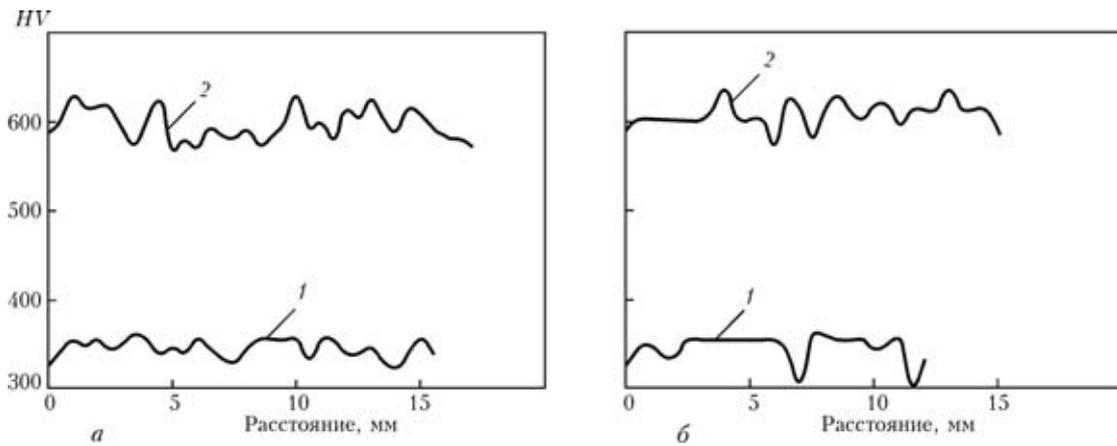


Рис. 2. Распределение микротвердости в поперечном направлении в четвертом наплавленном мартенситностареющего металла: а — перекрытие 30; б — 60 %; 1, 2 — соответственно до и после отпуска

ностареющей стали заданной системы легирования. Наплавку проводили проволокой диаметром 2,0 мм на следующих режимах: ток 300 А, напряжение 24...26 В, скорость наплавки 20 м/ч, шаг наплавки 9...11 (перекрытие ~ 30 %) и 7...8 мм (перекрытие ~ 60 %). Из наплавленных пластин поперек наплавленных валиков вырезали темплеты, из которых изготавливали микрошлифы для исследований. На шлифах проводили замеры микротвердости (нагрузка  $P = 1$  кг, шаг 0,5 мм) по глубине многослойного наплавленного металла (рис. 1) и в четвертом наплавленном слое поперек наплавленных валиков (рис. 2) до и после старения.

Перекрытие наплавленных валиков не оказывает существенного влияния на распределение микротвердости по глубине наплавленного металла. Вне зависимости от перекрытия непосредственно после наплавки микротвердость по глубине наплавленного металла колеблется в пределах HV 10...20 и достигает значений, характерных для наплавленного металла заданного состава (рис. 1, а, б, кривые 1) уже в третьем слое. После старения разброс твердости наплавленного металла остается в тех же пределах — HV 10...20 (рис. 1, кривые 2).

На распределение твердости поперек наплавленных валиков шаг наплавки влияет значительно, хотя разброс микротвердости на границе соседних валиков несколько выше (рис. 2, кривые 1, 2). Тем не менее, значительного увеличения твердости здесь не наблюдается (вследствие относительно небольшого по продолжительности времени температурного воздействия) и ее колебания и в этом случае находятся в приемлемых пределах.

Испытания термической стойкости проводили на установке для комплексной оценки свойств наплавленного металла, разработанной в ИЭС им. Е. О. Патона [7]. Из заготовок, наплавленных опытной порошковой проволокой, вырезали образцы размером 40×40×40 мм. Термостойкость оценивали по количеству циклов нагрев–охлажде-

ние шлифованной поверхности наплавленного образца до появления сетки разгара в пятне нагрева, видимой невооруженным глазом. Нагрев образца проводили газовой горелкой до температуры 650...700 °С с последующим охлаждением водой до 60...70 °С. В среднем, по результатам испытания трех образцов, сетка разгара на поверхности образца мартенситностареющего наплавленного металла появляется после 40 циклов нагрев–охлаждение (рис. 3). Как видно из приведенных данных, по этому показателю опытный мартенситностареющий наплавленный металл превосходит известные типы наплавленного металла (35В9Х3СФ, 150ХНМ и т. д.), которые успешно применяются для наплавки инструментов для горячего деформирования металла.

Испытания на износостойкость при трении металла по металлу при повышенных температурах (схема испытаний вал–плоскость) проводили на той же установке [7] при следующих условиях: удельное давление в месте контакта 80 МПа; скорость трения 11...12 м/мин; температура кольца-контртела 800 ± 30 °С; температура на поверхности испытуемого образца в контактной зоне 500...550 °С; время испытания 1 ч. В качестве источника нагрева истирающего кольца использовали пламя газовой горелки. Размеры кольца-конт-

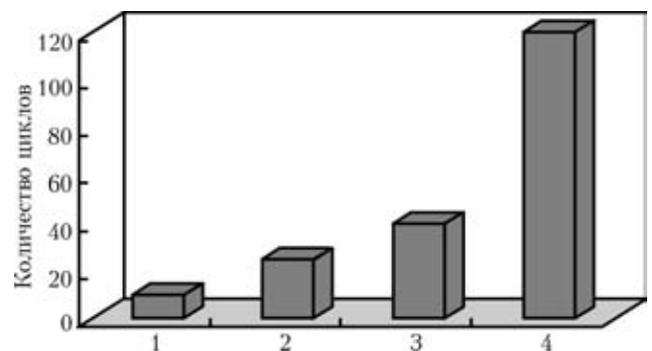


Рис. 3. Термостойкость наплавленного металла: 1 — 150ХНМ; 2 — 35В9Х3СФ; 3 — опытная мартенситностареющая сталь; 4 — 25Х5ФМС

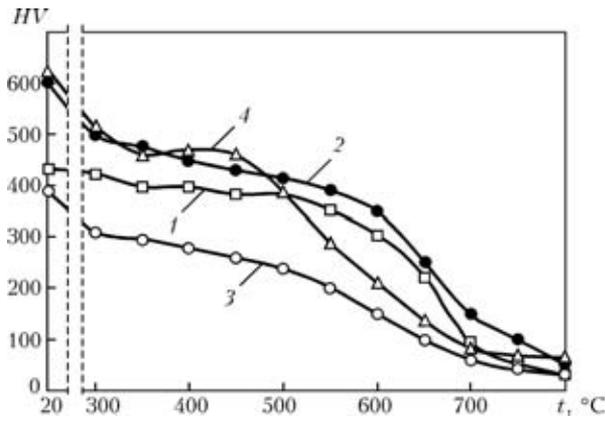


Рис. 4. Горячая твердость наплавленного металла: 1 — 25X5ФМС; 2 — 35В9ХЗСФ; 3 — 150ХНМ; 4 — опытная мартенситностареющая сталь

ртела, изготовленного из закаленной стали 45, следующие: диаметр 110 мм, ширина 30 мм, толщина 20 мм; размеры образца 10×20×40 мм. Для сравнения в качестве эталона испытывали также образцы из закаленной стали 45. Сопротивление изнашиванию оценивали по потере массы  $\Delta G$  испытываемого образца и истирающего кольца до и после изнашивания. Как показали эксперименты по износостойкости, опытный мартенситностареющий наплавленный металл превосходит закаленную сталь 45 в 3,5...4,0 раза.

Исследовали горячую твердость опытного наплавленного металла в сравнении с наплавленным металлом типа известных инструментальных сталей (рис. 4). Образцы нагревали в специальном индукторе в вакууме, замеры твердости проводили при нагрузке 1 кг и выдержке 60 с. Из приведенных данных видно, что горячая твердость мартенситностареющего наплавленного металла находится на одном уровне с горячей твердостью хромомолибденовой и хромовольфрамовой штамповых сталей, наплавленных соответствующими порошковыми проволоками.

Металлографические исследования опытного мартенситностареющего наплавленного металла

показали, что его структура до старения состоит из феррита, небольшого количества мартенсита и нитридов титана (рис. 5, а). После старения доля мартенсита значительно увеличивается, встречаются участки мелкоигольчатого и пакетного мартенсита, повышается содержание нитридов (рис. 5, б). Микротвердость матрицы до старения составляет HV 283, после старения HV 489; микротвердость нитридов HV 1206. Рентгеноструктурный анализ, проведенный на установке «Дрон-3», подтвердил, что вторичное твердение опытного наплавленного металла объясняется образованием значительных количеств мартенсита.

Для наплавки слоя мартенситностареющей стали системы легирования Fe-Ni-Mn-Si-Mo разработана самозащитная порошковая проволока, получившая условное наименование ПП-АН204. Исследованы сварочно-технологические свойства новой проволоки. Используемая в порошковой проволоке газшлакообразующая система  $\text{CaF}_2 + \text{TiO}_2 + \text{CaCO}_3$  обеспечивает высокую стабильность горения дуги и минимальное разбрызгивание. Коэффициент набрызгивания находился в пределах 12...14 %. Расход проволоки на 1 кг наплавленного металла составляет 1,25...1,27 кг. При диаметре проволоки 2,0 мм коэффициент наплавки составил 15...17 г/(А·ч). В наплавленном металле отсутствуют поры и трещины, а также обеспечивается минимальное количество шлаковых включений.

В заключение следует отметить, что разработанная самозащитная порошковая проволока ПП-АН204 обеспечивает получение наплавленного металла типа экономнолегированной мартенситностареющей стали. Наплавленный металл этого типа имеет высокие износостойкость (в условиях трения металла по металлу при повышенных температурах), термостойкость и горячую твердость. По результатам исследований порошковая проволока ПП-АН204 может быть рекомендована для восстановления и упрочнения инструментов для

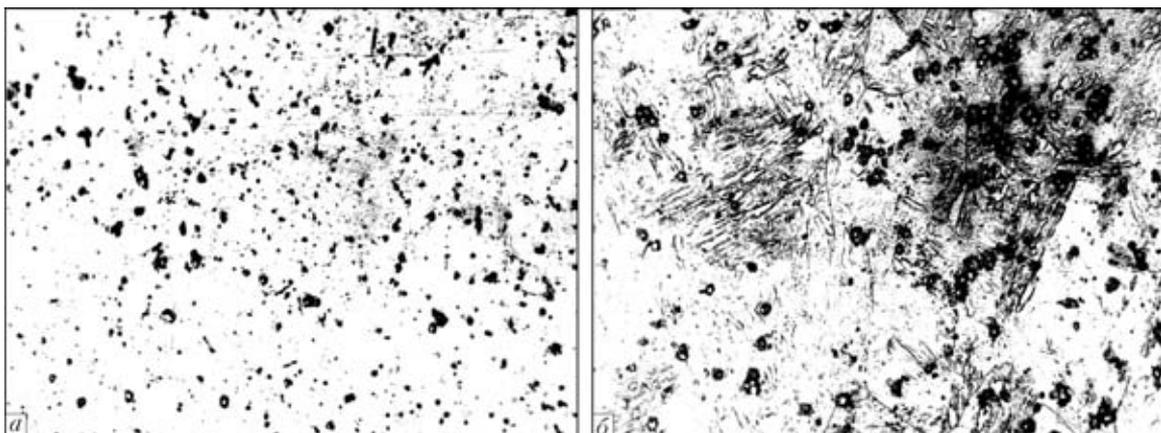


Рис. 5. Микроструктура опытного мартенситностареющего наплавленного металла (×400) до (а) и после старения (б). Травление электролитическое в 20 %-й хромовой кислоте



горячего деформирования металла, в первую очередь инструментов сложной формы, требующих больших затрат на механическую обработку.

1. Перкас М. Д., Кардомский В. М. Высокопрочные мартенситностареющие стали. — М.: Металлургия, 1971. — 224 с.
2. Бирман С. Р. Экономнолегированные мартенситностареющие стали. — М.: Металлургия, 1974. — 207 с.
3. Бармин Л. Н., Королев Н. В., Пряхин А. В. Свойства мартенситностареющих сплавов для наплавки инструмента горячего и холодного деформирования металла // Теоретические и технологические основы наплавки. Свойства и испытания наплавленного металла. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1979. — С. 57–61.
4. Кальянов В. Н., Багров В. А. Мартенситностареющие стали для наплавки штампов // Сварочн. пр-во. — 2003. — № 2. — С. 35–37.
5. Кальянов В. Н., Багров В. А. Новый материал для восстановления штампов горячей штамповки // Тез. докл. междунар. конф. «Современные проблемы сварки и ресурса конструкций». — (Киев, 27–28 нояб. 2003). — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2003. — С. 30–31.
6. Кондратьев И. А., Рябцев И. А., Черняк Я. П. Исследование свойств наплавленного металла типа мартенситностареющих сталей // Автомат. сварка. — 2004. — № 4. — С. 16–18.
7. Рябцев И. И., Черняк Я. П., Осин В. В. Блочно-модульная установка для испытаний наплавленного металла // Сварщик. — 2004. — № 1. — С. 18–19.

Described is a new flux-cored wire PP-AN204 that provides deposited metal of the type of maraging steel with the Fe-Ni-Mn-Si-Mo alloying system. Hardness of the as-deposited metal is HRC 20-30, which allows its easy cutting, while after tempering its hardness grows to HRC 50. After tempering, the deposited metal is characterised by high hot hardness, thermal stability and wear resistance in friction of metal on metal at increased temperatures. Therefore, it can be recommended for hardening of working surfaces of complex-configuration die tools.

Поступила в редакцию 09.09.2005

УДК 621.791.75.039-229.61

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕХАНИЗМЫ ПОДАЧИ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ В АППАРАТАХ ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКИ, НАПЛАВКИ И РЕЗКИ

В. А. ЛЕБЕДЕВ, канд. техн. наук, С. И. ПРИТУЛА, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены современные разработки механизмов подачи электродной проволоки применительно к оборудованию для сварки, наплавки и резки сталей и сплавов алюминия, дана классификация их основных типов. Особый интерес для специалистов представляют механизмы, осуществляющие подачу электродной проволоки с управляемым нестационарным характером движения (прерывистая подача, модулированная и импульсная). Рассмотрены достоинства и недостатки некоторых оригинальных конструкций импульсных механизмов подачи электродной проволоки.

*Ключевые слова:* механизированное дуговое оборудование, электродная проволока, механизмы подачи, классификация, способы подачи, управление нестационарным процессом

При производстве сварных металлоконструкций, ремонте с целью повышения ресурса работы машин и механизмов, а в последнее время и резке обоснованный выбор оборудования (полуавтоматов для осуществления дуговых механизированных процессов) является ведущим звеном организации сварочного производства, особенно если ставится задача обеспечения минимальных энерго- и ресурсозатрат. При этом разработчики, конструкторы и производители дугового механизированного оборудования постоянно сталкиваются с необходимостью выбора механизма подачи электродной проволоки.

В настоящей работе рассматриваются современные разработки механизмов подачи электрод-

ной проволоки при сварке, наплавке и резке сталей и сплавов алюминия.

Механизм подачи электродной проволоки в современной конструкции сварочного полуавтомата может иметь несколько основных функций: перемещение проволоки; инструмент влияния на технологический процесс; совершенствование конструкций полуавтоматов.

Классификация механизмов подачи электродной проволоки в полуавтоматах разной степени сложности, предназначенных для работы в различных условиях и решения разнообразных технологических задач, представлена в виде схемы на рис. 1. В данной классификации механизмы для прерывистой и импульсной подачи электродной проволоки рассматриваются как самостоятельные; они уравниваются с основным типом механизмов. Количество разработок механизмов, сообщающих проволоке нестационарный характер движения, постоянно возрастает. Они совершенствуются в