

## МАРГАНЕЦСОДЕРЖАЩИЕ НАПЛАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Л. С. МАЛИНОВ, д-р техн. наук (Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь),  
В. Л. МАЛИНОВ, канд. техн. наук (ОАО «Азовмаш», г. Мариуполь)

Обобщены результаты работ, выполненных в ПГТУ по созданию наплавочных материалов, которые обеспечивают получение в наплавленном металле метастабильного аустенита, армированного упрочняющими фазами, а также реализацию эффекта самоакалки при нагружении. Последний обусловлен превращением аустенита в мартенсит при нагружении в процессе изнашивания.

*Ключевые слова:* порошковая лента, наплавленный металл, мартенсит, метастабильный аустенит, износостойкость, карбиды, карбонитриды

Одним из современных перспективных направлений сварочного производства является создание материалов с метастабильной структурой, способных под влиянием внешних воздействий к «самоорганизации» [1]. К таким материалам, получившим название «разумных», «адаптирующихся», можно отнести стали, чугуны и наплавочные материалы на их основе, которые обеспечивают получение в структуре метастабильного аустенита, при эксплуатации претерпевающего мартенситные превращения (эффект самоакалки при нагружении). Идея создания таких сплавов была высказана И. Н. Богачевым и Р. И. Минцем [2] применительно к деталям, подвергавшимся кавитационному разрушению. Ими была разработана сталь 30X10Г10, а отраслевой лабораторией УПИ им. С. М. Кирова — проволока Нп-25X10ГКЛ, применяемая для наплавки крановых колес, плунжеров гидропрессов, роликов вагонеток и др. Однако такой наплавленный металл трудно обрабатывать резанием из-за малой стабильности аустенита; он имеет недостаточную коррозионную стойкость вследствие сравнительно невысокого содержания хрома, а наплавка для сохранения аустенитной структуры требует специальной технологии. Для улучшения обрабатываемости резанием целесообразно использовать материалы, обеспечивающие в наплавленном металле более низкое содержание углерода ( $\leq 0,2\%$ ) и повышенную стабильность аустенита. При этом увеличения износостойкости достигают армированием аустенита карбидами или карбонитридами элементов IV и V групп Периодической системы Менделеева. В зависимости от условий эксплуатации, а также требований к механическим и служебным свойствам, регулируют уровень стабильности аустенита и количество упрочняющей фазы. Достигается это за счет изменения содержания углерода (0,08... 0,16 %); азота (0,05... 0,15 %); карбидо- и нитридообразующих

элементов, например ванадия (0,05... 1,0 %) в сочетании с хромом (13... 14 %) и марганцем (10... 14 %). Важной особенностью наплавленного металла такого типа является то, что термообработка, обычно проводимая для снятия внутренних напряжений после наплавки (600... 650 °С), обеспечивает выделение в аустените наплавленного металла дисперсных фаз, в результате чего он дестабилизируется и претерпевает мартенситные превращения при нагружении в процессе эксплуатации. Изменяя режим термообработки, можно в широких пределах регулировать деформационные мартенситные превращения. Указанным принципом руководствовались при разработке совместно с ОАО «Азовмаш» порошковых лент ПЛ-Нп-15X13АГ10МФС [3], ПЛ-Нп-25X14П0Ф [4], ПЛ-Нп-20Г14АФ [5], а с УкрНИИспецсталь — проволоки сплошного сечения Св-14X14Г12Ф [6]. Исследования, выполненные в работе [7], показали, что в условиях трения скольжения при относительно невысоких скоростях (0,13 м/с) и отсутствии или небольшом разогреве трущихся поверхностей интенсивное деформационное мартенситное превращение играет существенную роль в повышении износостойкости. В случае испытаний с повышенной скоростью скольжения (0,98 м/с) интенсивность мартенситного превращения при трении снижается из-за повышения температуры рабочей поверхности. В этих условиях износостойкость наплавленного металла в большей степени определяется способностью к упрочнению самого аустенита. Последняя зависит от содержания углерода, что подтверждают данные табл. 1.

Испытания износостойкости в условиях трения качения (давление 320 МПа, частота вращения роликов 0,98 м/с, проскальзывания — 0,09 м/с) показали, что большим сопротивлением изнашиванию

**Таблица 1.** Влияние углерода в наплавленном металле типа X13АГ10МФС на количество мартенсита деформации и относительную износостойкость

| Массовая доля углерода, % | $v = 0,13 \text{ м/с}$              |                               | $v = 0,98 \text{ м/с}$              |                               |
|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
|                           | Количество мартенсита деформации, % | Относительная износостойкость | Количество мартенсита деформации, % | Относительная износостойкость |
| 0,10                      | 28                                  | 4,2                           | 10                                  | 3,1                           |
| 0,15                      | 19                                  | 3,8                           | 5                                   | 4,8                           |
| 0,20                      | 12                                  | 3,3                           | —                                   | 5,5                           |

**Малинов Леонид Соломонович** — профессор, зав. кафедрой материаловедения.

**Малинов Владимир Леонидович** — выпускник Мариупольского металлург. ин-та 1989 г., начальник бюро сварки ОАО «Азовмаш».

© Л. С. Малинов, В. Л. Малинов, 2001

характеризуется наплавленный металл с интенсивным деформационным мартенситным превращением. Так, в наплавленном металле 15X13AG10MFC при данной схеме испытаний образуется примерно 35 % мартенсита деформации, а в 20X13AG10MFC — приблизительно 23 %, относительная износостойкость в первом случае составляет 6,2, во втором — 5,8. В качестве эталона сравнения использовали металл, наплавленный проволокой Св-30ХГСА.

Температура нагрева наплавленного металла при термообработке (450... 650 °С), проводимой для уменьшения внутренних напряжений, неоднозначно влияет на его износостойкость. При испытаниях в условиях трения скольжения (относительно небольшие скорости), а также трения качения установлено, что нагрев на 450 °С (1 ч) снижает износостойкость наплавленного металла приблизительно на 30 %, а нагрев на 650 °С — повышает ее примерно на 40 % по сравнению с закаленным состоянием. Это обусловлено тем, что в первом случае аустенит стабилизируется по отношению к деформационному мартенситному превращению, а во втором — дестабилизируется в связи с выделением карбидов и карбонитридов. В последнем случае положительную роль играют дисперсные частицы фаз выделения. В условиях трения, не приводящего к значительному разогреву контактирующих поверхностей, предварительная холодная пластическая деформация повышает износостойкость наплавленного металла за счет активизации деформационного мартенситного превращения. Так, после деформации на 10 % износостойкость наплавленного металла 15X13AG10MFC увеличилась в два раза. Еще больший эффект дает комбинированная обработка, включающая холодную пластическую деформацию и последующий нагрев, вызывающий дисперсионное упрочнение образовавшегося мартенсита и аустенита. Износостойкость наплавленного металла в этом случае возрастает почти в три раза.

В условиях трения, сопровождающегося значительным повышением температуры (более 450 °С), предварительная холодная деформация снижает износостойкость наплавленного металла. Это обусловлено переходом образовавшегося при деформации мартенсита в аустенит, что снижает сопротивление металла пластической деформации. Наплавку разработанными порошковыми лентами сечением 20X4 мм проводят под флюсами АН-348А, ОСЦ-45, АН-60 на следующем режиме:  $I_{св} = 600... 650$  А,  $U_{д} = 30... 32$  В,  $v_{св} = 35$  м/ч. При этом обеспечивается стабильное горение дуги, хорошее формирование наплавленного валика и отделимость шлаковой корки. Указанные материалы предназначены для износостойкой наплавки крановых колес, цапф сталеразливочных ковшей, плунжеров гидропрессов, долговечность которых существенно повышается.

Применение хромомарганцевых наплавочных материалов целесообразно и для некоторых деталей, работающих при температурах 600... 700 °С, что зафиксировано при использовании порошковой проволоки ПП-35ЖН, обеспечивающей

получение наплавленного металла типа 10X13Г12АФСЮР [8].

В табл. 2 приведены сравнительные данные износо- и термостойкости, а также твердости при 20 и 600 °С для наплавленного металла 10X13Г12АФСЮР и 08Х21Н10Г6. Полученные данные свидетельствуют о том, что последний значительно уступает безникелевому [8]. Анализ стойкости валков пилигримовых станов в условиях ОАО «МК им. Ильича», длительное время наплавлявшихся проволокой ПП-35ЖН, показал, что их долговечность возросла в 1,40... 1,65 раза по сравнению с валками, наплавленными проволокой Св-08Х21Н10Г6 [8]. Можно полагать, что применение хромомарганцевых наплавочных материалов эффективно для повышения долговечности инструментов горячего деформирования и деталей, работающих в специфических условиях, аналогичных условиям работы валков пилигримовых станов.

Для наплавки деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания, разработаны наплавочные материалы на основе Fe-Mn-Cr-V-C. Их особенностью является получение в структуре наплавленного металла метастабильного аустенита (в ряде случаев наряду с мартенситом), армированного карбидами хрома и ванадия. В них реализуется принцип самозакалки при нагружении. Примером может служить порошковая лента ПЛ-Нп-(300-400)Х(12-15)Г4С2Ф, предназначенная для замены более дорогой ленты ПЛ-АН-101 (300Х28НЗСЗГ2).

В работах [9, 10] приведены результаты исследований по созданию хромомарганцевых наплавочных материалов для различных условий ударно-абразивного воздействия, которые характеризуются коэффициентом динамичности  $K_d$  [11], определяемым отношением твердости образца из стали 110Г13Л после износа в конкретных условиях изнашивания к его исходной твердости. Данная сталь способна накапливать энергию внешнего воздействия, упрочняясь при этом. Уровень упрочнения позволяет судить об интегральной интенсивности ударно-абразивного воздействия [11]. Исследования были выполнены с использованием метода планирования эксперимента для различных значений  $K_d$  в интервале от 1,2 до 3,5. Содержание легирующих элементов в наплавленном металле варьировалось в следующих пределах, %: углерода 1... 3, марганца 2... 6, хрома 6... 12. В ряде случаев дополнительно вводили ванадий.

Показано, что при малых значениях коэффициента динамичности ( $K_d = 1,2... 1,4$ ) в наплавленном металле содержание углерода должно составлять 2,0... 2,5, марганца 2... 3 и хрома примерно 12 %, а

Таблица 2. Свойства металла, наплавленного проволоками ПП-Нп 10X13Г12АФСЮР и Св-08Х21Н10Г6

| Тип наплавленного металла | Износ наплавленного металла при 600 °С и давлении 15 МПа (время испытания 1 ч), мг | Термостойкость (количество циклов «нагрев-охлаждение» до появления трещин) | Твердость <i>HRB</i> |         |
|---------------------------|--|--|----------------------|---------|
|                           |  |  | 20 °С                | 600 °С  |
| 10X13Г12АФСЮР             | 4,2...7,4  | 930...1080   | 100...110            | 80...89 |
| 08Х21Н10Г6                | 23,9...29,7  | 440...620  | 82...88              | 66...73 |

его структура должна быть преимущественно мартенситно-карбидной. Для указанных условий целесообразно использовать порошковые ленты ПЛ-Нп-230Х12Г2 и ПЛ-Нп-250Х10Г4Ф3. С повышением коэффициента динамичности необходимо уменьшать содержание углерода и увеличивать количество марганца в наплавленном металле. Так, при  $K_d = 3,5$  оптимальным является следующее содержание легированных элементов в наплавленном металле, %: углерода 1,0... 1,7, марганца 5... 6 и хрома 12. При этом целесообразно применять порошковую ленту ПЛ-Нп-160Х12Г5. С возрастанием  $K_d$  в структуре наплавленного металла необходимо увеличивать количество остаточного аустенита и повышать его стабильность по отношению к деформационному мартенситному превращению. Установлено, что если после наплавки структура и фазовый состав наплавленного металла отличаются от оптимальных, то эффективным способом их регулирования является нормализация. Ее режимы следует выбирать с учетом интенсивности ударно-абразивного воздействия. При повышении  $K_d$  следует использовать более высокие температуры нагрева для нормализации с целью увеличения количества аустенита в структуре и степени его стабильности. Наплавку разработанными порошковыми лентами сечением 20Х4 мм следует производить под флюсом АН-26 при следующих режимах:  $I_{св} = 600... 650$  А;  $U_d = 28... 32$  В;  $v_{св} = 35$  м/ч. Указанные ленты отличаются хорошими сварочно-технологическими характеристиками.

Анализ приведенных данных показывает эффективность применения марганецсодержащих наплавочных материалов, обеспечивающих получение в структуре наплавленного металла метастабильного аустенита, армированного упрочняющими фазами, и реализацию эффекта самозакалки при нагружении. Важное значение мартенситного деформационного превращения заключается в том, что на его развитие расходуется большая часть энергии внешнего воздействия, а меньшая — идет на разрушение [12, 13]. При этом происходит не только упрочнение, но и релаксация микронапряжений, затрудняющая образование и развитие микротрещин [14]. Мартенситным деформационным превращением можно управлять путем изменения химического состава наплавленного металла или ре-

жимов термообработки после наплавки, что позволяет при оптимизации его развития обеспечить на более высокий уровень износостойкости.

1. *Лякишев Н. П.* Новые направления в технологии получения материалов с заданными свойствами // РАН. Металлы. — 1992. — № 2. — С. 5–8.
2. *Богачев И. Н., Миц Р. И.* Кавитационное разрушение железоуглеродистых сплавов. — М.; Свердловск: Машиноизд., 1959. — 111 с.
3. *А. с. 5455436 СССР, МПК В 23 К 35/368.* Порошковая проволока, содержащая стальную оболочку и порошкообразную шихту / Л. С. Малинов, В. И. Коноп, К. Н. Соколов и др. — Оpubл. 05.02.77, Бюл. № 5.
4. *Выбор состава хромомарганцевой стали с метастабильным аустенитом в качестве основы наплавленного материала* / Л. С. Малинов, А. П. Чейлях, Е. Я. Харланова, Т. В. Барышникова // Изв. вузов. Черн. металлургия. — 1994. — № 8. — С. 45–46.
5. *Новый наплавочный материал системы С-Fe-Mn-V для повышения долговечности ходовых колес мостовых кранов* / Л. С. Малинов, Е. Я. Харланова, А. А. Колечко и др. // Свароч. пр-во. — 1988. — № 9. — С. 18–20.
6. *Пат. 23408А Україна, МПК С 22 С 38/38.* Склад дроту для зносостійкої наплавки / Л. С. Малинов, В. М. Поліщук, Д. О. Деркач та ін. — Оpubл. 02.06.98, Бюл. № 3.
7. *Износостойкость дисперсионно-твердеющих сталей с метастабильным аустенитом* / Л. С. Малинов, В. И. Коноп, В. Д. Панин и др. // Прогрессивные методы сварки в тяжелом машиностроении и наплавки в черной металлургии: Сб. науч. ст. — Жданов: ЖДМИ, 1977. — С. 22–25.
8. *Повышение работоспособности валков пилигримовых станков наплавкой новой порошковой проволокой ПП-35ЖН* / А. В. Ковальчук, А. И. Олдаковский, Л. С. Малинов и др. // Свароч. пр-во. — 1984. — № 7. — С. 12–13.
9. *Малинов В. Л.* Разработка экономнолегированных наплавочных материалов для повышения износостойкости деталей, работающих в условиях ударно-абразивного изнашивания: Дис. ... канд. техн. наук. — Мариуполь, 1999. — 135 с. — Машинопись.
10. *Чигарев В. В., Малинов В. Л.* Выбор экономнолегированных наплавочных материалов для различных условий ударно-абразивного воздействия // Автомат. сварка. — 2000. — № 5. — С. 58–60.
11. *Петров И. В.* Исследование износостойкости наплавочных материалов при абразивном изнашивании под действием динамических нагрузок: Дис. ... канд. техн. наук. — М., 1965. — 212 с. — Машинопись.
12. *Малинов Л. С., Эйсмодт Т. Д.* Влияние предварительной пластической деформации на кавитационную стойкость хромомарганцевых сталей // Физико-химическая механика материалов. — 1968. — Т. 4. — С. 691–695.
13. *Попов В. С., Брыков Н. Н., Дмитриенко Н. С.* Износостойкость пресс-форм огнеупорного производства. — М.: Металлургия, 1971. — 160 с.
14. *Малинов Л. С.* Кинетика образования эпсилон-фазы в легированных железомарганцевых сплавах: Дис. ... канд. техн. наук. — Свердловск, 1963. — 144 с. — Машинопись.

Results of the work done at PGТУ on making surfacing consumables to provide the deposited layer with meta-stable austenite reinforced with hardening phases and realize the effect of self-hardening under loading have been generalized. The above effect is caused by transformation of austenite into martensite under loading during the wearing process.

Поступила в редакцию 05.04.2001,  
в окончательном варианте 11.06.2001