

УДК 669.018:620.178.167.001.5

Малинов В. Л.

РАЗРАБОТКА НОВЫХ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫХ НАПЛАВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И УПРОЧНЯЮЩИХ ОБРАБОТОК, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ

В связи с постоянно растущей стоимостью энергоносителей и материалов ресурсосбережение становится в настоящее время актуальной проблемой. Во многих случаях восстановление деталей машин и инструмента, а также повышения его долговечности достигается электродуговой наплавкой с использованием материалов, содержащих дорогие легирующие элементы, что обуславливает их высокую стоимость. В данной работе обобщены результаты исследований по ее решению в одном из перспективных направлений, а именно: использованию экономичных наплавочных материалов и упрочняющих обработок наплавленного металла (термической, химико-термической и деформационно-термической) для получения в наплавленном металле метастабильной структуры, претерпевающей динамические структурные и фазовые превращения при нагружении в процессе эксплуатации.

При этом использован принцип, заключающийся в том, что в структуре сплавов наряду с другими составляющими получают метастабильный аустенит, превращающийся при охлаждении на воздухе и/или при нагружении в процессе испытаний механических свойств и эксплуатации в мартенсит (эффект самозакалки). При этом важно управлять структурой и развитием превращений, оптимизируя их применительно к конкретным условиям. Это позволяет существенно повышать долговечность деталей машин и инструмента [1, 2].

Превращения, протекающие в наплавленном металле, должны быть не только механизмом упрочнения, но и, что особенно важно, релаксацией напряжений. На развитие превращений расходуется значительная часть энергии внешнего воздействия и соответственно ее меньшая доля идет на разрушение. Основную роль играют мартенситные превращения (эффект самозакалки). Однако наряду с ними используются другие различные факторы упрочнения и сопротивления разрушению. Такой подход позволяет создавать сплавы различных структурных классов и назначения, не содержащие дорогих легирующих элементов, или иметь их в значительно меньших количествах, чем в применяемых. При этом обеспечивается хорошая технологичность (прокаливаемость, обрабатываемость резанием, свариваемость, малая склонность к образованию трещин и короблению, повышенное сопротивление разрушению при нагреве и др.), а также высокие эксплуатационные свойства [1, 2].

Представляет интерес группа новых экономнолегированных наплавочных материалов, обеспечивающих получение в наплавленном металле бейнитно-аустенитную структуру. Наплавленный металл с этой структурой имеет более высокую износостойкость, чем при наплавке широко применяемой порошковой проволокой ПП-Нп 18Х1Г1М, содержащей дорогой молибден.

Цель данной работы – разработка экономнолегированных наплавочных материалов, а также упрочняющих технологий, обеспечивающих повышение износостойкости за счет получения в структуре наплавленного металла метастабильного аустенита.

Перспективна разработка экономнолегированных технологичных наплавочных материалов, обеспечивающих получение в наплавленном металле структуры малоуглеродистого марганцевого и хромомарганцевого мартенсита. Эти материалы могут быть дополнительно легированы в небольших количествах сильными карбидообразующими элементами Ti, Nb, V для получения мелкозернистой структуры и повышения износостойкости за счет образования карбидов высокой твердости.

Особенностью малоуглеродистых марганцевых наплавочных материалов является то, что после проведения отпуска при 600–650 °С, обычно применяемого для снятия внутренних напряжений, в наплавленном металле образуется до 30–40 % метастабильного аустенита, что является следствием перераспределением углерода и марганца между α и γ -фазами, и обогащения последней этими элементами. Важно подчеркнуть, что, несмотря на снижение твердости наплавленного металла, абразивная износостойкость возрастает более чем в 1,3 раза (рис. 1).

Это является следствием реализации динамического мартенситного превращения в процессе изнашивания.

Металл, наплавленный малоуглеродистыми хромомарганцевыми материалами, по разгаростойкости, коррозионной (в ряде сред) и износостойкости не уступает хромоникелевым аналогам. Получение метастабильного аустенита в наплавленном металле в количестве 10–20 % повышает сопротивление образованию трещин при наплавке, а также износостойкость.

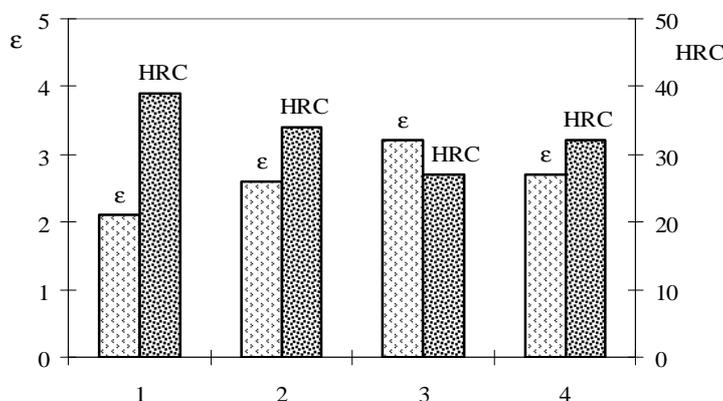


Рис. 1. Влияние температуры отпуска на твердость и абразивную износостойкость металла, имеющего структуру малоуглеродистого марганцевого мартенсита:

1 – после наплавки без ТО; 2 – отпуск 500 °С; 3 – отпуск 600 °С; 4 – отпуск 700 °С

Наиболее существенный экономический эффект может быть получен за счет замены хромоникелевых наплавочных материалов (Св-06Х18Н10Т и др.) хромомарганцевыми, обеспечивающими получение в наплавленном металле метастабильного аустенита.

Впервые идея создания таких материалов была высказана в работах И. Н. Богачева и Р. И. Минца в середине 50-х годов прошлого века, и реализована ими для создания кавитационностойких сталей [3, 4].

Первые наплавочные материалы этого типа были созданы под руководством М. И. Разикова. К ним относятся электроды УПИ 30Х10Г10 и порошковая проволока ПП-30Х11Г12Т [5]. Их широкому применению препятствует трудная обрабатываемость резанием наплавленного металла. В связи с этим перспективными являются низкоуглеродистые хромомарганцевые наплавочные материалы [6, 7]. Примером может служить разработанная кафедрой «Материаловедение» ПГТУ совместно с УкрНИИ Спецсталь наплавочная проволока Нп-14Х14Г12Ф. В работе [7] изучалось влияние отпуска в интервале 250–600 °С (выдержка 1 ч) на абразивную износостойкость металла, наплавленного этой проволокой. Было установлено, что нагрев в интервале температур 250–450 °С вследствие стабилизации аустенита снижает абразивную, но повышает ударно-абразивную износостойкость наплавленного металла. Напротив, нагрев при 650 °С дестабилизирует аустенит по отношению к динамическому мартенситному превращению, повышает абразивную и снижает ударно-абразивную износостойкость.

Повысить в 1,5 раза абразивную износостойкость металла, наплавленного хромомарганцевой аустенитной проволокой Нп-14Х14Г12Ф можно холодной пластической деформацией (~ 10–15 %), которая активизирует деформационное мартенситное превращение.

Это является следствием упрочнения аустенита и более интенсивного развития динамического мартенситного превращения.

Для работы в условиях интенсивного абразивного и ударно-абразивного изнашивания обычно применяются наплавочные материалы, обеспечивающие получение в структуре наплавленного слоя значительного количества твердых фаз (карбидов, боридов и др.). Однако увеличение их количества сверх оптимального для данных условий изнашивания, приводит к охрупчиванию и быстрому разрушению рабочей поверхности. При этом важную роль играет структура металлической матрицы сплавов, в частности присутствие остаточного аустенита. В литературе приводятся противоречивые данные относительно его оптимального содержания в структуре. Одной из причин этого является то, что в большинстве случаев используется лишь качественная оценка условий эксплуатации.

И. В. Петровым [8] предложено, для характеристики различных условий изнашивания использовать коэффициент динамичности (Кд), определяемый как отношение твердости образца из стали 110Г13Л после изнашивания в данных условиях к его исходной твердости. Сталь 110Г13Л накапливает энергию внешнего воздействия, упрочняясь при этом, а уровень ее упрочнения позволяет судить об интегральной интенсивности ударно-абразивного воздействия.

С учетом Кд проведено изучение абразивной и ударно-абразивной износостойкости наплавленного металла систем Fe–Cr–Mn–C и Fe–Cr–Mn–V–C с различными соотношениями упрочняющих фаз и метастабильного аустенита в структуре [9].

При малых коэффициентах динамичности (Кд = 1,2–1,4) наибольшая износостойкость достигается в наплавленном металле, структура которого преимущественно мартенситно-карбидная, количество остаточного аустенита составляет 40–50 %. В данных условиях изнашивания легирование наплавленного металла ванадием в повышенном количестве (до 3 %) при одновременном увеличении содержания углерода до 2,5–3,0 % повышает износостойкость лишь на 10...15 %. Роль метастабильного аустенита в увеличении сопротивления абразивному износу значительно больше. Оно возрастает 50–70 %.

При больших Кд = 3,5 оптимальной является структура преимущественно аустенитная, при суммарном количестве мартенсита и карбидов в структуре менее 20 %. В данных условиях ударно-абразивного воздействия легирование ванадием неэффективно.

Наплавка высокоуглеродистыми материалами, применяющимися для повышения износостойкости, требует подогрева, однако и это не всегда предотвращает образование трещин, являющихся очагами разрушения при эксплуатации. Эффективным технологическим приемом, позволяющим избежать этого, является наплавка низко- и малоуглеродистыми материалами, широко применяющимися в промышленности для сварки, с их последующей цементацией [10]. Это позволяет восстановить геометрические размеры изношенных деталей без образования трещин. Обработка резанием в этом случае не представляет затруднений. Заключительными операциями могут быть цементация и при необходимости термическая обработка. Это реализовано применительно к наплавке проволоками Св-08ГА, Св-10Х13, ПЛ-Нп 12Х14Г4СТ, Нп-14Х14Г12Ф.

Наиболее высокая абразивная износостойкость обеспечивается в том случае, когда в структуре наряду с мартенситом и карбидами присутствует 40–50 % метастабильного аустенита. Аналогичный результат достигается и в случае, когда получена структура метастабильного аустенита, армированного карбидами, интенсивно превращающегося при изнашивании в мартенсит (прирост мартенсита деформации 40–50 %), рис. 2.

В условиях интенсивного ударно-абразивного воздействия стабильность аустенита должна быть повышенной, а прирост мартенсита деформации не должен превышать 15–20 %.

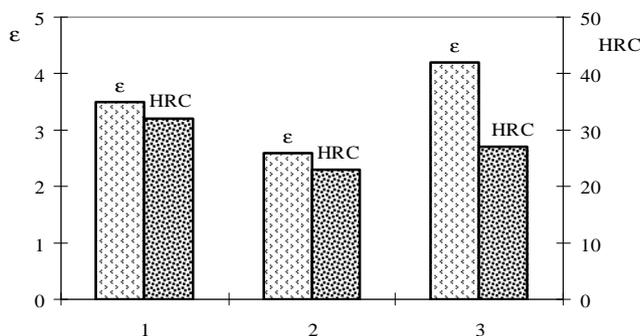


Рис. 2. Влияние термической обработки на твердость и абразивную износостойкость металла со структурой малоуглеродистого марганцевого мартенсита после цементации:

1 – после цементации без ТО; 2 – закалка от 1050 °C; 3 – закалка от 1050 °C и отпуск 600 °C

ВИВОДИ

1. Показана целесообразность использования экономнолегированных наплавочных материалов на марганцевой и хромомарганцевой основах.

2. В структуре наплавленного металла необходимо получать наряду с другими составляющими метастабильный аустенит, количеством и степенью стабильности которого необходимо управлять, оптимизируя их применительно к условиям нагружения.

3. Показана эффективность использования для восстановления быстроизнашивающихся деталей и инструментов низко- и малоуглеродистых сварочных материалов, обладающих хорошей технологичностью, подвергаемых последующей цементации для получения в структуре метастабильного аустенита и значительного повышения износостойкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малинов Л. С. Разработка экономнолегированных высокопрочных сталей и способов упрочнения с использованием принципа регулирования мартенситных превращений : дис. ... докт. техн. наук : 05.16.01 / Л. С. Малинов. – Екатеринбург, 1992. – 381 с.
2. Малинов Л. С. Экономнолегированные сплавы с мартенситными превращениями и упрочняющие технологии / Л. С. Малинов, В. Л. Малинов. – Харьков : ННЦ ХФТИ, 2007. – 352 с.
3. Богачев И. Н. Повышение кавитационной стойкости деталей машин / И. Н. Богачев, Р. И. Минц. – М. : Машиностроение, 1964. – 143 с.
4. Богачев И. Н. Кавитационное разрушение и кавитационностойкие сплавы / И. Н. Богачев, Р. И. Минц – М. : Металлургия, 1972. – 179 с.
5. Разиков М. И. Сварка и наплавка кавитационной стали марки 30X10Г10 / М. И. Разиков, С. Л. Мельниченко, В. П. Ильин. – М. : НИИТМАШ, 1964. – 35 с.
6. Малинов Л. С. Марганецсодержащие наплавочные материалы / Л. С. Малинов, В. Л. Малинов // Автоматическая сварка. – 2001. – № 8. – С. 34–36.
7. Малинов В. Л. Экономнолегированные электродные материалы, обеспечивающие в наплавленном металле деформационное упрочнение при эксплуатации / В. Л. Малинов // Автоматическая сварка. – 2006. – № 8. – С. 29–32.
8. Петров И. В. Исследование износостойкости наплавочных материалов при абразивном износе и динамических нагрузках : дис. ... канд. техн. наук / И. В. Петров. – Москва, 1965. – 152 с.
9. Малинов В. Л. Разработка экономнолегированных наплавочных материалов для повышения износостойкости деталей, работающих в условиях ударно-абразивного изнашивания: дис. ... канд. техн. наук / В. Л. Малинов. – Мариуполь, 2000. – 135 с.
10. Патент UA 63462 А Україна, С 21 Д 1/2. Спосіб зміцнення / Малинов Л. С., Малинов В. Л. – № 2343704 ; заявл. 22.04.2003 ; опубл. 15.01.2004, Бюл. № 1.