

УДК 621.791.75.042

Калинин Ю. А., Брыков М. Н.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВЕННОЙ СВАРКИ ИЗНОСОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ (ОБЗОР НАПРАВЛЕНИЙ)

Изнашивание деталей во многих случаях эксплуатации является основной причиной выхода из строя машин и оборудования. Большое разнообразие механизмов разрушения поверхности трения и условий работы обуславливает очень широкий диапазон скоростей изнашивания и, соответственно, износостойкости материалов.

Современная классификация различает более десяти классов износостойкости, при этом износостойкость материалов соседних классов отличается на порядок.

Наиболее разрушительными видами изнашивания являются абразивное и коррозионно-абразивное [1, 2]. Данным видам изнашивания подвержены рабочие органы широкой номенклатуры промышленного оборудования. Для их восстановления и повышения износостойкости используют изготовительную и ремонтную наплавку [3] электродами, порошковой проволокой и порошковой лентой соответствующих марок [4, 5, 6].

Альтернативным способом защиты от абразивного изнашивания является использование деталей из износостойких материалов [7, 8].

Целью работы является исследование разработанных электродов для качественной сварки износостойких сталей с легированием металла шва при использовании чистых по сере и фосфору шихтовых материалов.

Повышение износостойкости достигается двумя путями: увеличение содержания в структуре твердой фазы (карбиды, бориды и т.п.) и использование износостойкой металлической матрицы.

Твердые карбидные включения позволяют достигать очень высокой износостойкости. Однако они увеличивают и хрупкость деталей, что значительно затрудняет, а во многих случаях даже исключают эксплуатацию изделий из сплавов с большим количеством карбидной фазы.

Износостойкость металлической матрицы может быть повышена за счет термообработки с целью получения определенного фазового состояния.

В сплавах на основе железа возможны три основных типа металлической основы: феррит, мартенсит и аустенит.

Бейнит можно рассматривать как феррито-цементитную или феррито-аустенитную фазовую смесь в зависимости от содержания кремния.

Феррит обладает низкой износостойкостью и не используется в качестве металлической основы износостойких материалов. Износостойкость мартенсита и аустенита достаточно полно исследована для различных условий абразивного изнашивания и в широком диапазоне химического состава сплавов.

Для мартенситной основы максимально возможная износостойкость достигается после закалки без отпуска стали с содержанием углерода 0,8% и твердостью 840–860 HV.

Легирование мартенсита или увеличение содержания в нем углерода не приводит к повышению износостойкости.

Аустенитная матрица обладает максимальной износостойкостью при предельно возможной нестабильности аустенита ($M_n \sim 20$ °C) и содержании углерода 1,2 % и более. Высокая износостойкость достигается за счет деформационного мартенситного превращения в поверхностном слое толщиной 20–40 мкм при пластической деформации абразивными зёрнами. В таком состоянии матрица аустенита при твердости 220–250 HV обладает значитель-

но более высокой износостойкостью, чем матрица высокоуглеродистого неотпущенного мартенсита.

Износостойкость феррито-цементитного бейнита при твердости до 600 HV значительно уступает износостойкости мартенсита. Фактически при такой структуре износостойкость бейнита подчиняется зависимости «износостойкость-твердость» для сплавов с ферритной основой.

При повышенном содержании кремния цементит в процессе бейнитного превращения не образуется.

Углерод диффундирует из бейнитного феррита в аустенит, что несколько снижает температуру мартенситного превращения и, соответственно, износостойкость. Однако при этом повышается сопротивляемость ударным нагрузкам, а износостойкость остается более высокой, чем износостойкость мартенсита.

Сравнительная диаграмма износостойкости сталей при различном структурном состоянии металлической основы представлена на рис. 1.

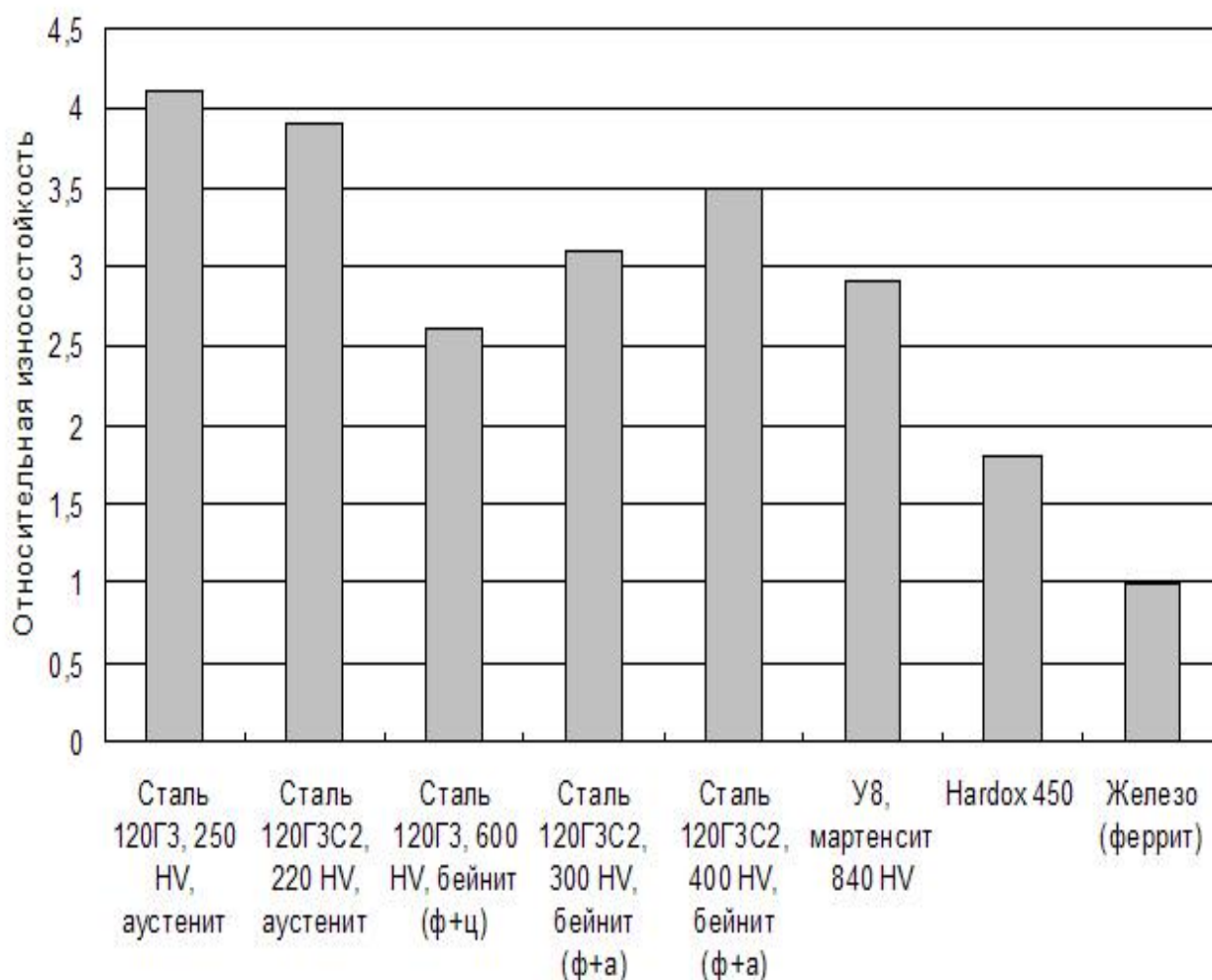


Рис. 1. Относительная износостойкость при абразивном изнашивании (электрокорунд)

Если деталь невозможно полностью изготовить из износостойкого материала, применяют броневую защиту быстроизнашивающихся поверхностей трения.

Брони из специальных износостойких сталей фиксируют различными способами, в том числе сваркой. При этом материал брони должен отвечать двум взаимоисключающим

требованиям: низкое содержание углерода для обеспечения хорошей свариваемости и высокое содержание углерода (до 1,2%) для достижения высокой износостойкости [8].

Предлагаемые в настоящее время на рынке механически упрочненные износостойкие стали высокой твердости с относительно низким содержанием углерода не могут обеспечить высокую степень защиты, поскольку при абразивном изнашивании механический наклеп не повышает износостойкость [9].

Сравнительные испытания на абразивное изнашивание коммерческой термомеханически упрочненной стали и высокоуглеродистой низколегированной стали 120Г3 после закалки на аустенит показали многократное преимущество последней при изнашивании гранитом, песком и шамотом [10].

При испытаниях на электрокорунде (см. рис. 1) износостойкость сталей 120Г3 и 120Г3С2 также значительно выше.

Таким образом, низколегированные высокоуглеродистые стали могут служить перспективным материалом для защиты деталей, подверженных абразивному изнашиванию в процессе эксплуатации.

Использование высокоуглеродистых низколегированных сталей в качестве броневой защиты может быть затруднено лишь проблемами их свариваемости с материалом защищаемой поверхности.

Сварка высокоуглеродистых сплавов в принципе осуществима. Даже чугуны могут с успехом свариваться с использованием современных научных достижений [11].

Поскольку металлическая матрица высокоуглеродистых низколегированных сталей 120Г3 и 120Г3С2 почти идентична матрице нелегированных чугунов [12], рассмотрены принципы сварки чугунов.

Основные трудности создают закалочные структуры в околошовной зоне, большое количество свободного графита, низкая температура кристаллизации эвтектической составляющей сплава.

Для устранения влияния двух последних факторов сварочные материалы создают на железоникелевой и никелевой основах [11].

Однако при сварке высокоуглеродистых низколегированных сталей автоматически отпадают эти два фактора. В связи с этим нет необходимости использовать никель, вполне достаточно более экономичных легирующих элементов.

Дополнительным аргументом поиска альтернативных вариантов является низкая прочность сварных швов, выполненных высоколегированными никельсодержащими сварочными материалами.

В работе [13] представлены результаты разработки сварочных материалов, обеспечивающих в сварном шве структуру хромомарганцевого аустенита с повышенной прочностью и работоспособностью сварных соединений закаливающих сталей, свариваемых без подогрева и термической обработки.

Электроды АНВМ-2 и АНВМ-3 были успешно использованы для сварки без подогрева и термической обработки сталей 20Х2НМ, 30ХГСА, а также приварке зубьев ковшей экскаваторов [13].

Вполне вероятно, что применение указанных сварочных материалов позволит получить качественные сварные соединения высокоуглеродистых низколегированных сталей, например 120Г3 и 120Г3С2, для бронезащиты рабочих органов оборудования в условиях интенсивного изнашивания.

При необходимости могут быть проведены дополнительные исследования для корректировки состава электродных материалов при сохранении основных подходов получения качественных сварных швов.

ВЫВОДЫ

1. Разработанные электродные материалы АНВМ-2 и АНВМ-3 обеспечивают за счет состава наплавленного металла типа 15Х9Г19АТ и 35Х9Г22ФТ возможность бездефектной сварки широкого спектра сталей: 40Х, 30ХГСА, 18Г2АФ, 15Х5М, 09Г2С, 110Г13Л.

2. Доказано, что при выполнении сварки разработанными электродами легирование металла шва обеспечивают компоненты электродного покрытия – хром, марганец, азотированный марганец, графит, феррованадий, ферротитан. Шихтовые материалы используют чистые по сере и фосфору.

3. Исследования показали, что металл шва при сварке данными электродами имеет преимущественно аустенитную структуру и соответствующую твердость HV 180–260 для металла типа 15Х9Г19АТ и HV 260–306 для металла типа 35Х9Г22ФТ.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Increasing the abrasive wear resistance of low-alloy steel by obtaining residual metastable austenite in the structure* / L.S. Malinov, V.L. Malinov, D.V. Burova, V.V. Anichenkov // *Journal of Friction and Wear*. – 2015. – V.36. – №3. – P. 237–240.

2. *Enancement of steels wear resistance in corrosive and abrasive medium* / V. Kaplun, P. Kaplun, R. Bodnar, V. Gonchar // *Interdisciplinary Integration of Science in Technology, Education and Economy : monograph /ed. by J. Shalapkо, B. Zoltowski. – Bydgoszcz, 2013. – P. 320–329.*

3. *Материалы и энергосберегающие технологии наплавки для восстановления и изготовления деталей машин и механизмов* / И.А. Рябцев, Ю.М. Кусков, И.А. Кондратьев, Я.П. Черняк, И.И. Рябцев // *Автоматическая сварка*. – 2007. – №3. – С.21–26.

4. *Жудра А.П. Наплавочные порошковые ленты (Обзор)* / А.П. Жудра, А.П. Ворончук // *Автоматическая сварка*. – 2012. – №1. – С.39–44.

5. *Чигарев В.В. Производство и применение порошковых лент для наплавки износостойких сплавов* / В. В. Чигарев // *Автоматическая сварка*. – 1994. – №2. – С.51–52.

6. *Чигарев В.В. Порошковые ленты для наплавки* / В.В. Чигарев, А.Г. Белик // *Сварочное производство*. – 2011. – №8. – С.38–44.

7. *Principles for developing grinding media with increased wear resistance. Part 1. Abrasive Wear Resistance of iron-based alloys* / A.D. Koval, V.G. Efremenko, M.N. Brykov, M.I. Andrushchenko, R.A. Kulikovskii, A.V. Efremenko // *Journal of friction and wear*. – 2012. – V.33. – №1. – P. 39–46.

8. *Брыков М.Н. Износостойкость сталей и чугунов при абразивном изнашивании : научное издание* / М.Н.Брыков, В.Г.Ефременко, А.В.Ефременко. – Херсон : Гринь Д.С., 2014. – 364 с.

9. *Хрущов М.М. Исследование изнашивания металлов* / М. М. Хрущов. – М. : Изд-во Академии наук СССР, 1960. – 352 с.

10. *Zur Festigkeit niedriglegierter Stähle mit erhöhtem Kohlenstoffgehalt gegen abrasiven Verschleiß* / O. Hesse, J. Merker, M. Brykov, V. Efremenko // *Tribologie + Schmierungstechnik*. – 2013. – № 6. – S.37–43.

11. *Грецкий Ю.Я. Основные аспекты свариваемости конструкционных чугунов* / Ю. Я. Грецкий // *Автоматическая сварка*. – 2006. – №9. – С.12–21.

12. *Изотермическая обработка высокоуглеродистого кремнийсодержащего аустенита* / О. Хессе, А.Е. Капустян, В.Г. Ефременко, С.П. Бережний, М.Н. Брыков // *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. – 2014. – №2. – С.61–66.

13. *Хромомарганцевые материалы для сварки сталей повышенной прочности без подогрева и термической обработки* / В.М. Кулик, Э.Л. Демченко, Д.В. Васильев, В.П. Елагин // *Автоматическая сварка*. – 2012. – №10. – С.17–21.