

УДК 669.018:620.178.167.001.5

Малинов В. Л.

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ТЕМПЕРАТУРЫ ОТПУСКА НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МАРГАНЦЕВОГО НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

Электродуговая наплавка является одним из наиболее широко применяемых в промышленности способов восстановления деталей, инструментов и повышения их долговечности. Современные наплавочные материалы зачастую ее не обеспечивают, а также в ряде случаев содержат в своем составе большое количество дорогих легирующих элементов (никеля, молибдена, вольфрама и др.). В результате ремонт оборудования требует больших затрат. Их снижение является актуальной современной проблемой. В данной работе она решалась использованием экономнолегированных наплавочных материалов, обеспечивающих получение марганцевого и хромомарганцевого наплавленного металла. За счет подбора химического состава и/или проведения соответствующих обработок в нем получали наряду с другими составляющими (мартенситом, карбидами) метастабильный аустенит, претерпевающий при последующем нагружении в процессе испытаний свойств или эксплуатации динамическое деформационное мартенситное превращение (эффект самозакалки при нагружении). Управление количеством и стабильностью аустенита применительно к конкретным условиям испытаний или эксплуатации позволяет существенно повысить износостойкость наплавленного металла для различных условий изнашивания [1, 2]. Одновременно с этим протекают и другие структурные и фазовые превращения: образование дефектов упаковки, изменение плотности дислокации, двойникование, образование ультрадисперсной и нанокристаллической структур [3], динамическое старение, протекающее в бейните, мартенсите и аустените. Они являются ответной реакцией на внешнее воздействие, следствием чего являются адаптация к нему поверхности, диссипация энергии и снижение ее доли, идущей на разрушение наплавленного металла.

Впервые идея создания материалов с метастабильным аустенитом, превращающимся при нагружении в процессе испытания свойств или эксплуатации, была высказана и реализована при создании сталей высокой кавитационной стойкости И. Н. Богачевым и Р. И. Минцем [5, 6]. Первые наплавочные материалы, обеспечивающие получение в наплавленном металле структуры метастабильного аустенита разработаны под руководством М. И. Разикова [7] на основе стали 30X10Г10, созданной И. Н. Богачевым и Р. И. Минцем.

Целью данной работы является получение и изучение экономнолегированного наплавленного металла с метастабильным аустенитом различных структурных классов, чему в настоящее время не уделяется внимания.

Для восстановления деталей машин, работающих в условиях сухого трения и контактно-усталостного нагружения (крановых колес, различных роликов и др.), были разработаны экономнолегированные и технологичные малоуглеродистые марганцевые наплавочные материалы, обеспечивающие получение в наплавленном металле ~ 0,15 % С и, соответственно, 5, 8 и 14 % Mn. Из опытных партий шихты изготовлялась однозамковая порошковая лента сечением 10 × 3 мм с коэффициентом заполнения 48–50 %. В качестве стальной оболочки использовалась холоднокатаная лента сечением 30 × 0,4 мм из стали 08КП.

Наплавку в 6 слоев производили на пластины из стали СтЗсп толщиной 30 мм на сварочном автомате А-1416 с источником питания ВДУ-1201. Режим наплавки: сила тока 450–500 А, напряжение 30–32 В, скорость наплавки 25 м/ч.

После ее завершения проводился отпуск при температурах 450, 550, 650 и 750 °С с выдержкой 1 ч и последующим охлаждением на воздухе.

Испытания износостойкости наплавленного металла в условиях сухого трения проводились на машине МИ-1М по схеме «колодка-ролик». Ролик изготавливался из рельсовой стали, имеющей твердость 340–350 НВ. В паре с ним изнашивались образцы, наплавленные порошковыми лентами различного состава.

Относительная износостойкость определялась по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Delta P_{ЭТ}/S_{ЭТ}}{\Delta P_{ОБР}/S_{ОБР}}, \quad (1)$$

где $\Delta P_{ЭТ}/S_{ЭТ}$ и $\Delta P_{ОБР}/S_{ОБР}$ – соответственно, потери массы эталона и образца, отнесенные к площади их изношенной поверхности.

За эталон сравнения принята износостойкость металла, наплавленного широко применяемой для восстановления деталей проволокой ПП-Нп 18Х1Г1М.

Определялась также износостойкость при изнашивании в потоке дробы, транспортируемой сжатым воздухом. Воздействие дробью вызывает наклеп поверхности, что приводит к передеформированию приповерхностных объемов и образованию усталостных трещин. Этот процесс может рассматриваться как аналогичный изменениям поверхностного слоя, происходящим при контактно-усталостном изнашивании в процессе эксплуатации деталей.

Давление сжатого воздуха составляло 5 атм. Выходное отверстие воздушно-абразивной смеси из сопла инжектора \varnothing 16 мм. Угол атаки абразива поверхности изнашиваемых образцов \sim 60 град. Продолжительность испытания определялась расходом заданного количества дробы (20 кг). Относительная износостойкость определялась также по формуле (1).

Рентгеновским методом изучался фазовый состав с использованием дифрактометра ДРОН-4. Проводились металлографические исследования.

При выбранных содержаниях марганца (5, 8, 14 % Mn) трещины в наплавленном металле отсутствовали. Однако в ходе предварительных опытных работ было обнаружено возникновение трещин в наплавленном металле, содержащем 10–12 % Mn, что ограничивает применение таких наплавочных материалов.

Твердость и относительная износостойкость наплавленного металла, имеющего \sim 0,15 % C при различном содержании 5, 8, 14 % Mn, без термической обработки и после отпуска при различных температурах приведены в табл. 1.

Таблица 1

Твердость и относительная износостойкость наплавленного металла после отпуска (выдержка 1 ч) при различных температурах

Содержание марганца в наплавленном металле	Температура отпуска, °С	Твердость, HRC	Относительная износостойкость при сухом трении	Относительная износостойкость в потоке дробы
5 %	Без отпуска	36	2,4	1,9
	450	35	2,3	1,8
	550	33	2,1	1,6
	650	29	1,8	1,3
	750	37	2,6	2,0
8 %	Без отпуска	43	3,3	2,3
	450	42	3,1	2,2
	550	41	2,8	2,1
	650	37	3,4	2,6
	750	44	3,2	2,4
14 %	Без отпуска	34	1,7	2,9
	450	33	1,6	3,3
	550	34	1,8	3,1
	650	35	2,0	3,0
	750	34	1,7	3,1

Особенностью наплавленного металла, содержащего 5 и 8 % Mn, полученного применением соответствующих порошковых лент, является то, что он имеет структуру мартенсита, твердость которого наибольшая при 8 % Mn (рис. 1, а, б). По мере повышения температуры отпуска происходит уменьшение твердости, наплавленного металла, сопровождающееся снижением износостойкости при сухом трении и в потоке дробы. Чем ниже была исходная

твердость наплавленного металла, тем эта закономерность в большей степени проявляется. Она обусловлена уменьшением содержания углерода и плотности дислокаций в мартенсите, а, соответственно, сопротивления разрушению при изнашивании.

Наиболее высокая износостойкость наплавленного металла, содержащего 5 и 8 % Mn, при сухом трении и при ударно-абразивном воздействии получена после нагрева в межкритический интервал температур МКИТ ($A_{c1} < t < A_{c3}$). В первом случае она составляет 750 °С, а во втором – 650 °С. При этом в структуре наплавленного металла наряду с α -фазой и небольшим количеством карбидов обнаруживается аустенит (9 и 18 %, соответственно). Это является следствием перераспределения углерода и марганца между α - и γ -фазами и обогащения этими элементами последней [8].

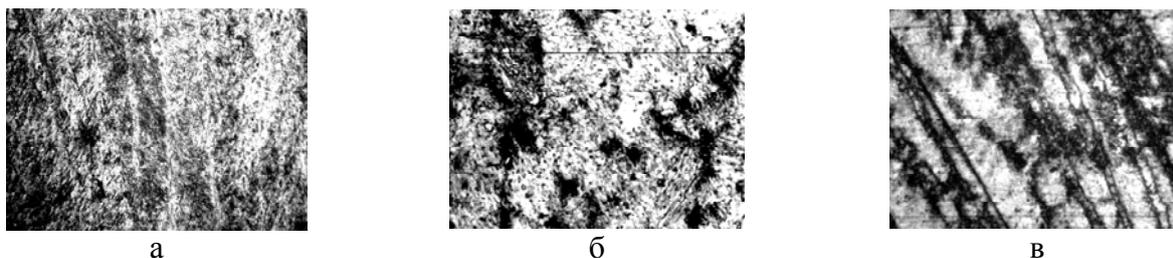


Рис. 1. Микроструктура наплавленного металла без термической обработки с различным содержанием марганца:

а – 5 % Mn; б – 8 % Mn; в – 14 % Mn

Полученный аустенит метастабилен и при испытаниях превращается в мартенсит деформации, о чем свидетельствуют дифрактограммы до и после воздействия абразивных частиц на поверхность наплавленного металла, содержащего 8 % Mn (рис. 2). Этим, а также упрочнением после выдержки в МКТИ, и объясняется повышение износостойкости наплавленного металла.

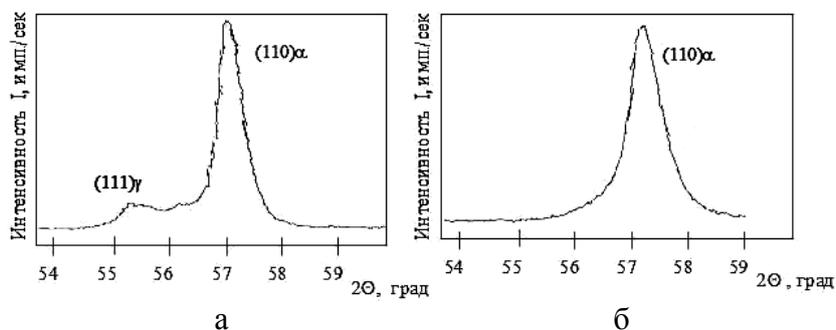


Рис. 2. Дифрактограммы наплавленного металла, содержащего 8 % Mn, после отпуска при 650 °С:

а – до изнашивания; б – после изнашивания

Наплавленный металл, содержащий 14 % Mn, после наплавки имеет структуру, включающую аустенит (~ 50 % γ -фазы) и мартенсит (~ 30 % α -фазы и ~ 20 % ε -фазы), рис. 1, в.

Нагрев наплавленного металла, содержащего 14 % Mn, в интервале температур 450–750 °С (выдержка 1 ч) влияет следующим образом. В том случае, когда имеет место стабилизация аустенита по отношению к образованию аустенита деформации (450 °С), а также распад α -мартенсита, наблюдается снижение износостойкости при сухом трении и увеличение при ударно-абразивном изнашивании.

При 550 °С и особенно 650 °С из-за выделения карбидов из аустенита, происходит его дестабилизация и, соответственно, интенсификация мартенситообразования.

На рис. 3 приведены дифрактограммы поверхности наплавленного металла, содержащего 14 % Mn, после отпуска при 650 °С до и после изнашивания. До изнашивания в структуре наплавленного металла преобладает аустенит ~ 60 % γ -фазы, а содержание мартенсита ~ 22 % α -фазы и ~ 18 % ε -фазы. После изнашивания в результате деформационного превращения

в структуре преобладает α -мартенсит ($\sim 55\%$), ϵ -фаза отсутствует, а содержание аустенита составляет $\sim 45\%$. Интенсификация деформационного мартенситного превращения обеспечивает увеличение износостойкости наплавленного металла при сухом трении и уменьшение при изнашивании в потоке дроби.

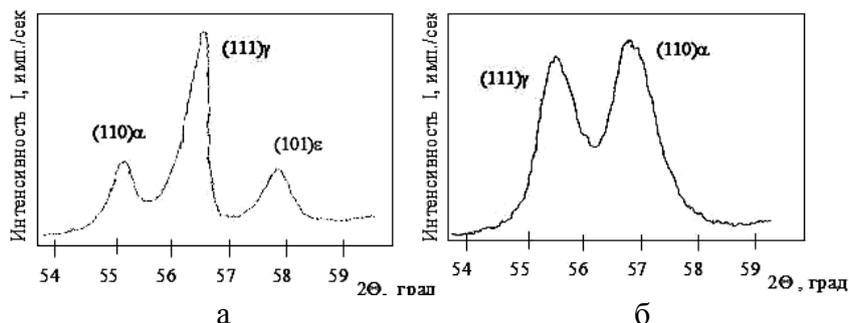


Рис. 3. Дифрактограммы наплавленного металла, содержащего 14 % Mn, после отпуска при 650 °C:

а – до изнашивания; б – после изнашивания

После нагрева на 750 °C структура и износостойкость при различных видах испытаний становятся близкими к исходному наплавленному состоянию.

Полученные данные показывают, что наплавленный металл, содержащий 5, 8 и 14 % марганца, обладает повышенной износостойкостью по сравнению с металлом, наплавленным проволокой ПП-Нп 18Х1Г1М, принятой за эталон.

Проводимый после наплавки режим отпуска должен выбираться не только с учетом уменьшения уровня напряжений, как это предусматривается в настоящее время, но и для получения в наплавленном металле требуемой структуры. Следует отметить эффективность нагрева и выдержки наплавленного металла в МКИТ для повышения его износостойкости.

ВЫВОДЫ

Показана перспективность создания экономнолегированных марганецсодержащих наплавочных материалов, в которых легированием или обработками может быть получен метастабильный аустенит, превращающийся в мартенсит деформации.

Оптимизация количества и стабильности аустенита за счет обработок существенно повышает износостойкость наплавленного металла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малинов В. Л. Экономнолегированные марганецсодержащие наплавочные материалы, обеспечивающие повышение долговечности изделий / В. Л. Малинов // Тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. «Университетская наука. – Мариуполь : ПГТУ, 2009. – Т. 2. – С. 121–122.
2. Малинов В. Л. Наплавочные материалы и обработки, обеспечивающие повышение долговечности за счет метастабильного аустенита / В. Л. Малинов // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета : сб. науч. трудов. – Харьков : ХНАДУ, 2009. – Вып. 46. – С. 92–94.
3. Кориунов Л. Г. Структурная нестабильность и трибологические свойства сталей при трении скольжения / Л. Г. Кориунов // Вестник ГОУ ВПО УГТУ-УПИ. – Екатеринбург. – № 2 (32). – С. 118–129.
4. Малинов Л. С. Аналогия некоторых принципов, лежащих в основе адаптации живых организмов и сплавов с метастабильным аустенитом, в которых реализуется эффект самозакалки при нагружении, а также разработка технологий на этой основе / В. Л. Малинов // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. трудов. – Днепропетровск : ПГСА, 2002. – Вып. 15, Ч. 1. – С. 79–83.
5. Богачев И. Н. Кавитационное разрушение железоуглеродистых сплавов / И. Н. Богачев, Р. И. Минц. – М. : Сverdlovsk : Mashgiz, 1959. – 111 с.
6. Богачев И. Н. Повышение кавитационно-эрозионной стойкости деталей машин / И. Н. Богачев, Р. И. Минц. – М. : Машиностроение, 1964. – 142 с.
7. Разиков М. И. Сварка и наплавка кавитационной стали марки 30Х10Г10 / М. И. Разиков, В. П. Ильин. – М. : НИИМАШ, 1964. – 35 с.
8. Тененбаум М. М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин при абразивном изнашивании / М. М. Тененбаум. – М. : Машиностроение, 1966. – 331 с.