

В. Л. МАЛИНОВ (Приазовский государственный технический университет, Мариуполь)

## ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ МЕТАСТАБИЛЬНОГО АУСТЕНИТНОГО ХРОМОМАНГАНЦЕВОГО НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

В работе показано, что за счет применения рациональных режимов отпуска, поверхностной пластической деформации, цементации с последующей нормализацией, может быть существенно повышена износостойкость при сухом трении металла со структурой метастабильного аустенита, полученного наплавкой проволокой ПП-Нп 14Х12Г12СТ.

*Ключевые слова:* режим отпуска, деформация, метастабильный аустенит, цементация, нормализация, структура

### Постановка проблемы

Ресурсосбережение является одной из главных задач, решаемых на предприятиях. Это обусловлено постоянно растущими ценами на железорудное сырье, другие материалы и, как следствие, на металл. Электродуговая наплавка является одним из наиболее широко применяемых в промышленности способов восстановления деталей, и инструментов. Современные наплавочные материалы зачастую не обеспечивают долговечности, 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 и их снижение является актуальной проблемой.

Перспективным направлением решения этой задачи является создание на Fe-Cr-Mn-C основе наплавочных материалов, а также повышение свойств наплавленного металла с применением термической, химико-термической и деформационно-термической обработок. При этом эффект достигается за счет получения в сплавах, наряду с другими составляющими метастабильного аустенита, превращающегося в мартенсит при нагружении в процессе эксплуатации.

### Анализ последних исследований и публикаций

На развитие мартенситных превращений расходуется значительная часть энергии внешнего воздействия и, соответственно, ее меньшая доля идет на разрушение. При этом важно управлять структурой и развитием мартенситных превращений, оптимизируя их применительно к конкретным условиям [1, 2]. Впервые идея создания метастабильных аустенитных сталей высказана в работах И. Н. Богачева и Р. И. Минца в середине 50-х годов прошлого века и реализована ими для создания кавитаци-

онностойких 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-20Х10Г10Т [5]. Их широкому применению препятствовала трудная обрабатываемость резанием наплавленного металла. Это обусловило необходимость разработки наплавочного материала, обеспечивающего достаточную износостойкость и лучшую обрабатываемость резанием. Последнее может быть достигнуто за счет снижения в наплавленном металле содержания углерода, сильно упрочняющего аустенит и мартенсит деформации, образующийся при нагружении. В связи с уменьшением содержания углерода для повышения износостойкости целесообразно было легировать наплавленный металл кремнием и титаном – для получения мелкозернистой структуры и армирования аустенита карбидами. С учетом этого, для повышения долговечности быстроизнашивающихся деталей машин и механизмов, работающих в условиях сухого трения и контактного нагружения, разработана порошковая проволока ПП-Нп 14Х12Г12СТ [6], позволяющая получить в наплавленном металле структуру малоуглеродистого хромоманганцевого метастабильного аустенита, превращающегося при трении в мартенсит.

### Цель статьи

Показать новые возможности повышения износостойкости за счет наплавки деталей порошковой проволокой ПП-Нп 14Х12Г12СТ, в сочетании с последующими различными упрочняющими обработками.

### Изложение основного материала

Во многих случаях для наплавки деталей работающих в условиях сухого трения и кон-

тактного нагружения в настоящее время используют проволоки ПП-Нп 18Х1Г1М или Нп-30ХГСА, которые не позволяют получить высокую износостойкость наплавленного металла. Это обусловлено тем, что после низкотемпературного отжига проводимого с нагревом 550-600 °С для снятия напряжений после наплавки, в структуре наплавленного металла преобладает ферритная составляющая, имеющая низкое сопротивление разрушению.

Наплавку опытных образцов проводили в шесть слоев под флюсом АН-26 на пластину толщиной 30 мм из стали ВСтЗсп. Режим наплавки: сила тока  $I = 350-400$  А, напряжение  $U = 35-40$  В, скорость наплавки  $V = 40...45$  м/ч. Фазовый состав наплавленного металла определялся методом рентгеноструктурного анализа. Износостойкость определялась на опытных образцах размером 10x10x25 мм, вырезанных из наплавленного металла. Испытания износостойкости при сухом трении проводились по схеме колодка-ролик на установке М1-М. Ролик изготавливался из рельсовой стали М76 и термообработывался на твердость 320 НВ.

Изучалось влияние на износостойкость металла, наплавленного ПП-Нп 14Х12Г12СТ, температуры отпуска при температурах 250, 450 и 650 °С (выдержка 1 ч), холодной поверхностной пластической деформации и цементации. Эталонем сравнения служил металл, полученный наплавкой широко применяемой для восстановления крановых колес порошковой проволокой ПП-Нп 18Х1Г1М, после отжига при 600 °С, имеющий твердость 260 НВ.

Установлено, что наплавленный металл без последующей термообработки в 3,5 раза превосходит по износостойкости эталон (рис. 1).

Отпуск образцов, наплавленных ПП-Нп 14Х12Г12СТ, на 250 и 450 °С снизил их относительную износостойкость до  $\varepsilon = 3,1$  и 2,9, соответственно, а нагрев на 650 °С напротив, повысил до  $\varepsilon = 4,5$ . Определение методом рентгеноструктурного анализа количества мартенсита, образовавшегося на изнашиваемой поверхности, позволило объяснить наблюдаемую закономерность. Снижение износостойкости после отпуска при 250 и особенно 450 °С обусловлено стабилизацией аустенита по отношению к динамическому деформационному мартенситному превращению. Отпуск при 650 °С напротив, активизирует это превращение. Данный вывод подтверждают следующие данные.

В наплавленном металле, не подвергнутом термообработке, количество образовавшегося мартенсита деформации составляет 15 %. Отпуск

при 250 и 450 °С, соответственно, снижает его количество до 12 % и 9 %, а отпуск при 650 °С увеличивает количество мартенсита деформации до 25 %. Важно подчеркнуть, что после наплавки обычно проводят отпуск при 600...650 °С для снятия внутренних напряжений в деталях и наплавленном слое, и именно этот режим обеспечивает наибольшую износостойкость при наплавке ПП-Нп 14Х12Г12СТ (рис. 1). Данные лабораторных исследований, показавшие высокую износостойкость металла, наплавленного ПП-Нп 14Х12Г12СТ, подтверждены промышленными испытаниями на ОАО «ММК им. Ильича» крановых колес, долговечность которых в 5 раз превысила серийные, восстановленные проволокой ПП-Нп 18Х1Г1М.

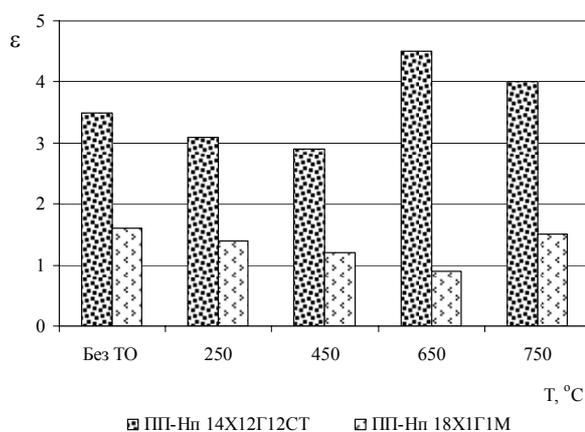


Рис. 1. Относительная износостойкость наплавленного металла после отпуска 1 ч при различных температурах

Твердость металла, наплавленного ПП-Нп 14Х12Г12СТ, не превышает 280 НВ. В ряде случаев она не достаточна, т. к. возможно изменение размеров деталей из-за смятия. Известен способ упрочнения деталей поверхностной пластической деформацией (ППД), которая осуществляется обкаткой роликом или обдувкой изделия стальной или чугунной дробью или др. [7]. Для получения различного количества мартенсита в поверхностном слое наплавленного металла осуществлялась ППД обкаткой роликом поверхности наплавленного металла на строгальном станке. Степень деформации варьировалась усилием прижатия ролика и/или количеством проходов. При этом изменялось количество мартенсита деформации, образующегося в поверхностном слое наплавленного металла, его твердость и износостойкость (табл. 1). Количество мартенсита деформации (магнитной фазы) контролировалось в процессе ППД с помощью ферритометра ФА-1М по величине тока отрыва.

**Твердость и износостойкость металла, наплавленного 14X12Г12СТ, при различных количествах магнитной фазы (мартенсита) после ППД**

Характеристики	Без ППД	Варианты ППД					
		1	2	3	4	5	6
Ток отрыва, мА	210...230	240...260	270...290	300...320	330...350	360...380	390...410
Количество магнитной фазы, %	14...16	19...21	24...26	29...31	34...36	39...41	44...46
Твердость НВ	260...280	290...310	320...340	350...370	380...400	410...430	440...460
Относительная износостойкость	3,5	4,0	4,7	5,3	5,1	4,9	4,2

Установлено, что наибольшая износостойкость ( $\varepsilon > 5$ ), достигается после ППД, когда в структуре поверхностного слоя образуется оптимальное количество мартенсита (29...36 %). При этом активизируется динамическое деформационное мартенситное превращение в процессе изнашивания (прирост мартенсита составляет 30...35 %). Твердость поверхностного слоя после проведения ППД повышается, что предупреждает изменение размеров деталей из-за смятия. Обычно при использовании ППД стремятся повысить твердость поверхности деталей до максимально возможного для материалов уровня. Однако применительно к наплавленному металлу со структурой метастабильного аустенита это недопустимо, поскольку приводит к образованию большого количества мартенсита уже после обработки и уменьшает его образование в процессе эксплуатации, что снижает износостойкость.

Эффективным способом повышения износостойкости, изученным в данной работе, является цементация. Следует отметить, что наплавка износостойкими высокоуглеродистыми

материалами требует подогрева деталей, однако и это не всегда предотвращает образование трещин. Эффективным технологическим приемом, является наплавка малоуглеродистыми вязкими аустенитными сплавами с последующей цементацией [8]. Это позволяет восстановить геометрические размеры изношенных деталей, гарантировано исключив образование трещин. Обработка резанием наплавленного металла в этом случае не представляет затруднений. После этого осуществляется цементация рабочего слоя и, при необходимости, термическая обработка.

Цементация опытных образцов металла, наплавленного ПП-Нп 14X12Г12СТ, проводилась при 950 °С (8 ч) с последующей нормализацией, предусматривающей нагрев до температур 850, 950 и 1050 °С (выдержка 20 мин). Влияние цементации и последующей нормализации на свойства наплавленного металла приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Влияние цементации и последующей нормализации с различных температур на свойства металла, наплавленного ПП-Нп 14X12Г12СТ**

Температура нагрева, °С	850	950	1050
Количество аустенита, %	38...40	50...52	95...97
Прирост мартенсита деформации, %	20...22	28...30	18...20
Твердость, НВ	450...470	350...370	280...320
Относительная износостойкость, $\varepsilon$	6,2	6,5	5,7

После нормализации в поверхностном слое образуется мартенситно-аустенитно-карбидная структура. Карбиды располагаются внутри зерен, а также в виде сетки по их границам. Переходный слой имеет аустенитную структуру с карбидной сеткой. Структура последующих слоев преимущественно аустенитная с небольшим количеством  $\varepsilon$ - и  $\alpha$ -фаз. Твердость поверхностного слоя снижается при увеличении температуры нормализации от 850 до 1050 °С из-за увеличения количества аустенита в струк-

туре. Наибольшую износостойкость ( $\varepsilon = 6,5$ ) при сухом трении имеют образцы металла, наплавленного предложенной порошковой проволокой, после цементации и нормализации с нагревом на 950 °С (табл. 2). Аналогичный результат получен и в случае, когда образцы наплавленного металла непосредственно после цементации охлаждались на воздухе. Полученные результаты показывают, что для достижения наиболее высокой износостойкости в условиях сухого трения не следует стремиться по-

лучить наиболее высокую твердость, как это обычно принято. Напротив, необходимо чтобы в структуре наряду с карбидами присутствовал метастабильный аустенит (~50%), интенсивно превращающийся в мартенсит деформации в процессе нагружения.

### ВЫВОДЫ

1. Формирование в наплавленном металле метастабильного аустенита при контролируемом его превращении, открывает широкие возможности повышения долговечности деталей машин и инструментов.

2. Отпуск металла со структурами метастабильного аустенита, позволяет изменять износостойкость при сухом трении в широком диапазоне значений. Наибольшая износостойкость обеспечивается при температурах отпуска 600-650 °С, за счет оптимального соотношения процессов выделения карбидов и деформационного мартенситного превращения.

3. Поверхностная пластическая деформация способствует приросту износостойкости металла после наплавления ПП-Нп 14X12Г12СТ пропорционально количеству мартенсита. Максимальная твердость (350-400 НВ) соответствует содержанию мартенсита на уровне 30-35%.

4. Дополнительное изменение износостойкости металла после наплавления ПП-Нп 14X12Г12СТ, может быть достигнуто цементацией с последующей нормализацией от 950 °С, когда в структуре кроме карбидо - мартенсит-

ной смеси, присутствует ~50% остаточного аустенита.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Малинов, Л. С. Экономнолегированные сплавы с мартенситными превращениями и упрочняющие технологии [Текст] / Л. С. Малинов, В. Л. Малинов. – Х. : ННЦ «ХФТИ», 2007. – 352 с.
2. Малинов, Л. С. Ресурсосберегающие экономнолегированные сплавы и упрочняющие технологии, обеспечивающие эффект самозакалки [Текст] / Л. С. Малинов, В. Л. Малинов. – Мариуполь : Рената, 2009. – 568 с.
3. Богачев, И. Н. Повышение кавитационной стойкости деталей машин [Текст] / И. Н. Богачев, Р. И. Минц. - М.: Машиностроение, 1964. - 143 с.
4. Богачев, И. Н. Кавитационные разрушения и кавитационностойкие сплавы [Текст] / И. Н. Богачев, Р. И. Минц. - М. : Металлургия, 1972. – 179 с.
5. Разиков, М. И. Сварка и наплавка кавитационной стали марки 30X10Г10 [Текст] / М. И. Разиков, С. Л. Мельниченко, В. П. Ильин. – М. : НИИМАШ, 1964. – 35 с.
6. Патент UA № 84493, B23K 35/368. Порошковый дріт [Текст] / Л. С. Малинов, В. Л. Малинов ; опубл. 27.10.2008, Бюл. № 20.
7. Матеріалознавство [Текст] / С. С. Дяченко [та ін.]. – Х. : Вид-во ХНАДУ, 2007. – 440 с.
8. Патент UA №63462, C21 D1/2. Спосіб зміцнення [Текст] / Л. С. Малинов, В. Л. Малинов ; опубл. 15.01.2004, Бюл. № 1.

Поступила в редколлегию 03.11.2011.

Принята к печати 09.11.2011.

МАЛІНОВ В. Л.

## ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ МЕТАСТАБІЛЬНОГО АУСТЕНІТНОГО ХРОМОМАНГАНЦЕВОГО НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ

У роботі показано, що за рахунок використання раціональних режимів відпуску, поверхневої пластичної деформації, цементації з наступною нормалізацією може бути суттєво підвищена зносостійкість при сухому терті металу зі структурою метастабільного аустеніту, отриманого наплавленням дротом ПП-Нп 14X12Г12СТ.

*Ключові слова:* режим відпуску, деформація, метастабільний аустеніт, цементація, нормалізація, структура

MALINOV. V.

## THE INCREASED OF WEAR-RESISTANT METAL WITH STRUCTURE METASTABLE CROME-MANGANESE AFTER MELTING

In work is shown, that at the expense of application of rational modes tempering, superficial plastic deformation, cementation with the subsequent normalization, can be essentially increased wear resistance at dry friction of metal with structure metastable austenite, which received deposition by a wire ПП-Нп 14X12Г12СТ.

*Keywords:* modes tempering, deformation, metastable austenite, cementation, normalization, structure