

УДК 621.791

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2018.82.0.98

## ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ БЕЗНИКЕЛЕВЫХ СТАЛЕЙ, ЛЕГИРОВАННЫХ ТИТАНОМ И МОЛИБДЕНОМ

Багров В.А., ХНАДУ

*Аннотация.* Служебные характеристики наплавленного металла определяются прежде всего системой легирования и, как следствие этого, различным фазовым составом и структурой. Для повышения износостойкости широкое применение получили стали не только с мартенситной, но и с аустенитно-мартенситной, аустенитно-карбидной и мартенситностареющей структурой. Проведено исследование влияния содержания титана и углерода на свойства наплавочных сталей. Показано, что наличие титана в количестве 1,6–2,0 % при содержании углерода 0,4–0,5 % позволяет получить безуглеродистую матрицу с карбидной упрочняющей фазой.

**Ключевые слова:** титан, наплавка, карбиды, легированный порошок, структура.

### Введение

Исследования, направленные на снижение энерго- и ресурсозатрат при восстановительной наплавке обрабатываемого инструмента и одновременном повышении его надежности и долговечности, в последнее время стали особенно актуальны. Практическое решение задачи осуществляется путем разработки новых и совершенствования имеющихся наплавочных материалов с экономно-легированными покрытиями и шихтой, применением оптимального способа их наплавки с учетом особенностей поведения материалов в реальных условиях.

В настоящее время разработано значительное количество износостойких сплавов и технологий их нанесения. Существенный вклад в научные исследования в этой области внесли Богачев И.М., Лившиц Л.С., Курдюмов Г.В., Попов В.С., Фрумин И.И., Филиппов М.А., Меликов В.В., Мамаев И.Н., Данильченко Б.В., Самсонов Г.В., Дьяченко С.С., Южаков И.В., Кальянов В.Н., Калугин Ю.К., Рябцев И.А. и др.

В работах этих исследователей широкое применение для восстановительной наплавки получили сплавы с бейнитной, мартенситно-аустенитной и мартенситной матрицами, в том числе и мартенситностареющие. Однако значительные содержания дефицитных дорогих элементов (никель, медь, кобальт, молибден, вольфрам) в мартенситностареющих сплавах ограничивают их применение. Сейчас возникла необходимость в разработке ресурсосберегающих сплавов.

### Анализ публикаций

В области работ, связанных с износостойкой наплавкой, проведены многочисленные исследования, разработаны высокоэффективные способы ручной и механизированной наплавки, наплавочные материалы с улучшенными показателями [1, 2].

Служебные характеристики наплавленного металла, предназначенного для работы в различных условиях износа, определяются, прежде всего, системой легирования и, как следствие этого, различным фазовым составом и структурой. При этом наименее благоприятной фазовой составляющей является феррит, поскольку имеет невысокий уровень твердости, износостойкости, вязкости и сопротивляемости разрушению.

В случае, когда ударные нагрузки определяют работоспособность изделия больше, чем износ, решающее значение приобретает количество аустенита и его природа. Наплавленный металл при этом имеет гетерогенную структуру, состоящую из вязкой матрицы и твердых кристаллов упрочняющей фазы –  $\text{Mo}_2\text{C}$ ,  $(\text{MoFe})_6\text{C}$ ,  $\text{TiC}$ ,  $(\text{FeMo})_3\text{C}$ ,  $(\text{FeCr})_{23}\text{C}_6$  и т.д. Основным карбидообразующим элементом в сталях, работающих в условиях абразивного износа, состав которых варьировали в пределах: 0,8–2,5 % углерода, 4–10 % марганца, 2–5 % хрома, 1,5–3,0 % титана – являлся титан. Карбиды титана имеют более высокую твердость, чем карбиды  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ ,  $\text{VC}$ ,  $\text{Mo}_2\text{C}$ ,  $(\text{FeCr})_{23}\text{C}_6$ , что сказывается на износостойкости.

Для повышения износостойкости широкое применение получили стали не только с мартенситной, но и с аустенитно-мартенситной,

аустенитно-карбидной и мартенситноста-реющей структурой. Для работы деталей в условиях молекулярно-механического, ударно-абразивного и абразивного износа широкое распространение получили стали, имеющие карбиды и бориды, ледебурит и остаточный аустенит либо карбидно-боридную упрочняющую фазу в аустенитно-мартенситной матрице. Стали с подобной структурой имеют высокую твердость и удовлетворительную износостойкость, однако применение их не всегда обеспечивает необходимую износостойкость наплавленного слоя. Кроме этого, для их изготовления применяются в большом количестве дорогостоящие и дефицитные материалы. Одним из рациональных способов повышения стойкости наплавленного металла износу является многокомпонентное экономное легирование, с помощью которого удается получить стали с упрочняющей карбидной фазой и высокими физико-механическими характеристиками. Для этого при разработке наплавочных материалов используют различные карбидообразующие элементы – Cr, W, V, Nb и др.

Титан повышает сопротивление развитию начальной стадии пластической деформации верхнего контактирующего слоя. Эффективность карбидов титана для повышения стойкости к износу как по расчетным, так и по экспериментальным данным не уступает результатам применения, как упрочняющей фазы, карбидов VC и NbC, что позволяет экономить ванадий и ниобий. Фрикционная теплостойкость экономнолегированных наплавленных сталей системы Cr–Mn–Ti на основе железа (при незначительном содержании Mo и V) выше аналогичной характеристики известной стали 35B9X3ГСФ.

В доэвтектоидных сталях при увеличении количества аустенита износостойкость уменьшается, а сопротивление ударным нагрузкам возрастает при легировании никелем. В заэвтектоидных сталях со значительной долей карбидов износостойкость с увеличением количества аустенита уменьшается, сопротивление ударным нагрузкам хромоникелевых сплавов возрастает, а хромомарганцевых – падает.

В исследуемых сталях никель заменен на марганец.

#### Цель и постановка задачи

Целью работы явилось повышение качества и износостойкости наплавленного металла путем усовершенствования состава

легирующих порошков за счет оптимизации содержания титана и углерода.

Задачей исследования было изучить влияние легирующих элементов на свойства и структуру наплавленного металла.

#### Влияние карбидной упрочняющей фазы на структуру и свойства наплавленного металла

В результате патентно-информационного поиска и литературного обзора принята автоматическая наплавка под флюсом.

Наплавку производили трактором ТС–17М и автоматической головкой А–1416 на пластины размером 200×150×25 мм из стали 20, 500×300×40 мм из стали 45 и 400×50×40 мм из стали 5ХНМ. В качестве защитного флюса для наплавки по слою легированного порошка на основе CaF<sub>2</sub> с системами легирования Cr–Mn–Ti и Cr–Mn–Mo–Ti был принят флюс АН–22. Исходная основность флюса АН–22 – В=1,4668, химическая активность – А<sub>ф</sub>=0,1819 [3] проволокой Св–08А диаметром 2 мм и погонной энергией  $q_n \approx 15–20$  кДж/см.

Известно, что регулирования структуры и фазового состава как в доэвтектоидных, так и в заэвтектоидных сталях можно добиться изменением содержания марганца как аустенизатора и титана как активного карбидообразующего элемента. При высоком содержании углерода до 2,5 % и карбидообразующих элементов возможно появление эвтектики типа  $\gamma+K$  или  $\alpha+K$ .

Содержание титана варьировалось в пределах от 3 до 6 % в наплавленном металле при содержании хрома 4–5 % и углерода 1,5–2,0 %.

Химический состав сплавов при наплавке варьировался долей участия обесоченной присадки (порошка) в металле шва. На основе проведения рентгенофазового анализа установлено следующее.

Наплавленный металл типа 150Х5Г9С2 с концентрацией титана порядка 5 % имеет сложную структуру. Структура кромки наплавленных валиков по схеме «горка» представляет собой ледебурит, состоящий из высоколегированного аустенита (А ≈ 80 %), карбидов и единичных участков мартенсита (рис. 1). Ближе к зоне сплавления структура состоит из аустенита и мартенсита крупногочьятого (А ≈ 50–55 %). Величина зерна соответствует примерно 5–6 баллам стандартной шкалы.

Увеличение содержания титана в наплавленном металле до 6–6,5 % расширяет в кромке зону аустенита. Структура кромки состоит из карбидов и легированного аустенита.



Рис. 1. Структура сплава 150X5Г9Т5С2,  $\times 350$

По мере приближения к зоне сплавления появляются единичные участки аустенитно-мартенситной структуры с содержанием аустенита  $\approx 60$ –70 %. Величина зерна в наплавленном металле соответствует примерно 5–6 баллу. Распределение упрочняющей фазы в наплавленном металле относительно равномерное.

Увеличение содержания углерода до 2,2 – 2,5 % в наплавленном металле при идентичном содержании других легирующих элементов привело к появлению в кромке крупноигольчатой структуры, состоящей из аустенита ( $\approx 80$  %), мартенсита и карбидов. Ближе к зоне сплавления (по условной границе) – крупноигольчатая аустенитно-мартенситная структура (А от 50 до 70 %). Зона сплавления состоит из аустенита, мартенсита и тонкой разорванной сетки карбидов (1–2 %).

По мере удаления от кромки к основному металлу структура меняется слоями: крупноигольчатый аустенит и мартенсит (А  $\approx 70$ –75 %), мелкоигольчатый мартенсит-аустенит (А  $\approx 20$ –25 %), крупноигольчатый аустенит-мартенсит (А  $\approx 50$ –55 %) и основной металл.

Увеличение содержания углерода привело к заметному повышению твердости наплавленного металла на 8...10 HRCэ.

В связи с разработкой и широким внедрением сталей со структурой метастабильного аустенита в качестве износостойких материалов исследовали влияние степени стабильности аустенита на свойства сталей с содержанием углерода 0,4–0,6 %, хрома  $\approx 3$  %, титана в пределах 1,5–2,0 %. Содержание марганца изменялось в пределах 5–9 %.

Анализ макроструктуры показал следующее. Высота наплавленных валиков колеблется в среднем в пределах 5–8 мм. Глубина проплавления – 1,5–2 мм. Ширина зоны термического влияния – 1–2 мм. Наплавлен-

ного металла плотный, трещин, несплавленных и других несплошностей нет (рис. 2).

Наплавленный металл типа 40ХЗГ5Т2С2 с концентрацией марганца в пределах 4–5 % имеет структуру мартенсита и троостита. Микроструктура верхней части валика состоит из мелко- и среднеигольчатого мартенсита и включений нитевидных карбидов, ориентированных по сетке цепочками.

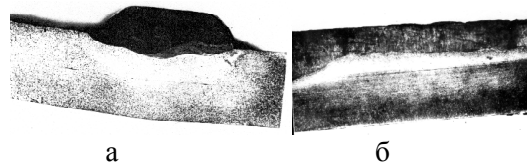


Рис. 2. Общий вид макроструктуры наплавленного металла,  $\times 2$ : а – поперечный шлиф; б – продольный шлиф

Микроструктура наплавленного металла в светлой зоне нижней части валика состоит из троостита, ориентированного по средне- и крупноигольчатому мартенситу. Микроструктура остальной части нижнего валика состоит из мелко и среднеигольчатого мартенсита, участков троостита и мелких, тонких, нитевидных карбидов, ориентированных по разорванной сетке.

Увеличение марганца до 9–10 % при неизменном содержании остальных легирующих элементов приводит к получению микроструктуры тонкодисперсного строения сорбитного типа. Структура однородная по всей высоте шва. Дендритная столбчатая ориентация структуры у линии сплавления выражена в значительно меньшей степени, чем у сплавов с содержанием марганца 4–7 %.

Влияние содержания марганца на структуру наплавленного металла приведено на рис. 3.

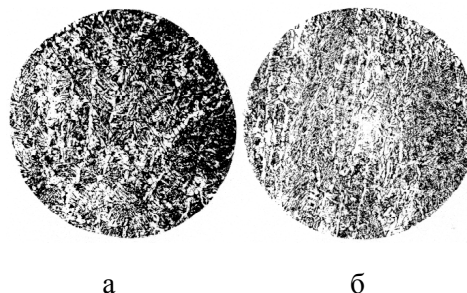


Рис. 3. Влияние марганца на структуру наплавленного металла,  $\times 100$ : а – 4–5 % Mn; б – 9 % Mn

Получение структуры сорбита можно объяснить как увеличением в металле марганца, элемента аустенизатора, так и влиянием термических циклов при многослойной наплавке. При многослойной наплавке предыдущие валики нагреваются выше точки  $A_{c1}$ . В процессе охлаждения участков, нагретых выше точки  $A_{c1}$ , выдержка в интервале наименьшей устойчивости аустенита зависит от погонной энергии наплавки и температуры предыдущих слоев. Последующие тепловложения будут способствовать изотермическому распаду аустенита [5, 6] и отпуску мартенсита, если он имелся в структуре металла. Образованию сорбита, из выше изложенного, способствует: сравнительно медленное охлаждение, связанное с изменением объема сварочной ванны, локальное повышение температуры начала мартенситного превращения (образование карбидов и снижение углерода в твердом растворе), наличие хрома и значительного количества марганца.

#### Выводы

1. Увеличение концентрации марганца снижает количество мартенсита и приводит к появлению сорбита при близком содержании в сплавах других легирующих элементов (С, Cr, Ti, Si).

2. Наличие титана в количестве 1,6–2,0 % при содержании углерода 0,4–0,5 % позволяет получить безуглеродистую матрицу с равномерно распределенной карбидной упрочняющей фазой. Твердость наплавленного металла, в сравнении с мартенситно-трооститной структурой, снижается незначительно на 4–6 HRC<sub>3</sub>.

#### Литература

1. Кальянов В.Н. Структура и характеристика износостойкого экономнолегированного наплавленного металла // Сварочное производство. – 1997. – №4. – С. 13–17.
2. Применение сталей ПНП в качестве наплавочных материалов для повышения усталостной прочности наплавленных деталей / Г.С. Микаелян, И.А. Рябцев, В.Г. Васильев и др. // Автомат. сварка. – 1993. – №10. – С. 34–36.
3. Потапов Н.Н. Основы выбора флюсов при сварке сталей. – М.: Машиностроение, 1979. – 168 с.
4. Справочник по практическому металлостроению / В.Л. Пилушенко, Б.Б. Винокур, С.Е. Кондратюк и др. – К.: Техніка, 1984. – 135 с.
5. Лившиц Л.С., Хакимов А.Я. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений. – М.: Машиностроение, 1980. – 336 с.

6. Пикеринг Ф.Б. Физическое металлостроение и разработка сталей / под ред. Г.В. Щербинского. – М.: Металлургия, 1982. – 184 с.

#### References

1. Kalyanov, V.N. (1997). *Struktura i kharakterystyka yznosostojkogo ekonomnolegirovannogo naplavennogo metalla*. [Structure and Performance Wear-resistant Economically Allows Building-up Welding Metal]. *Svarochnoe proyzvodstvo. – Welding Manufacture*, 4, 13-17 [in Russia].
2. Mykaelyan, G.S., Ryabcev, Y.A., Vasylev V.G. et al. *Prymenenye stalej PNP v kachestve naplavochnykh materiyalov dlya povisheniya ustalostnoj prochnosti naplavlennikh detalej*. [Application of Steels TPT in Quality Building-up Materials for Fatigue Resistance Heightening Building-up Details.]. *Avtomat. svarka. – Automatic Welding*, 10, 34-36 [in Russia].
3. Potapov, N.N. (1979). *Osnovi vybora flyusov pry svarke stalej*. [The Fundamentals of a Choice of Fluxes at Welding of Steels]. Moscow: Mashynostroenye, [in Russia].
4. Pilyushenko, V.L., Vinokur, B.B. & Kondratyuk, S.E. *Spravochnik po prakticheskomu metallovedeniyu* [Handbook of practical metal science]. Kiev: Tekhnika, [in Russia].
5. Lyvshycz, L.S. & Khakymov, A.Y. (1980). *Metallovedenye svarky y termicheseskaya obrabotka svarnykh soedyneniy* [Metall science of welding and heat treatment of welded connections]. Moscow: Mashynostroenye, [in Russia].
6. Pykering, F. B. (1982). *Fyzycheskoe metallovedenie y razrobotka stalei* [Physical metall science and working out of steels]. Moscow: Metallurgy, [in Russia].

**Багров Валерий Анатольевич** – к.т.н., доц., Харьковський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, 61002, Україна, ул. Ярослава Мудрого, 25, +38 063 950 074 99 havetabanca@ukr.net

#### ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ БЕЗНІКЕЛЕВИХ СТАЛЕЙ ЛЕГОВАНИХ ТИТАНОМ ТА МОЛІБДЕНОМ

**Багров В.А., ХНАДУ**

**Анотація.** В галузі робіт, пов'язаних зі зносостійким наплавленням, проведені численні дослідження, розроблені високоефективні способи ручного і механізованого наплавлення, наплавочні матеріали з поліпшеними показниками.

Службові характеристики наплавленого металу, призначеного для роботи в різних умовах зносу, визначаються, перш за все, системою легування і, як наслідок цього, різним фазовим складом і структурою. При цьому найменш сприятливою фазовою складовою є ферит, оскільки має

невисокий рівень твердості, зносостійкості, в'язкості й опірності руйнуванню.

Для відновлювального наплавлення широке застосування отримали сплави з бейнітною, мартенситно-аустенітною і мартенситною матрицями, в тому числі й мартенситностаріючі. Однак значний вміст дефіцитних дорогих елементів (нікель, мідь, кобальт, молібден, вольфрам) в мартенситностаріючих сплавах обмежує їх застосування. Зараз виникла необхідність у розробці ресурсозберігаючих сплавів.

Методика проведення дослідження включала розробку наплавочних порошків, автоматичну наплавку з подальшим вивченням структури і фазового складу на зразках наплавленого металу.

В результаті проведеного дослідження встановлено, що при багатошаровому наплавленні попередні валики нагріваються вище точки  $AC_1$ . У процесі охолодження ділянок, нагрітих вище точки  $AC_1$ , витримка в інтервалі найменшої стійкості аустеніту залежить від погонної енергії наплавлення і температури попередніх шарів. Наступні тепловкладення сприятимуть ізотермічному розпаду аустеніту та відпуску мартенситу, якщо він був у структурі металу. Утворенню сорбіту, з вище викладеного, сприяє: порівняно повільне охолодження, пов'язане зі зміною об'єму зварювальної ванни, локальне підвищення температури початку мартенситного перетворення (утворення карбідів і зниження вуглецю в твердому розчині), наявність хрому і значної кількості марганцю. При цьому наявність титану в кількості 1,6–2,0 % при вмісті вуглецю 0,4–0,5 % дозволяє отримати безвуглецеву матрицю з карбідною зміцнюючою фазою. Твердість наплавленого металу в порівнянні з мартенситно-трооститною структурою, знижується на 4–6 HRCe.

**Ключові слова:** титан, наплавка, карбіди, легований порошок, структура.

#### INCREASING WEAR RESISTANCE OF NICKEL-FREE STEELS, ALLOYED BY TITANIUM AND MOLYBDENUM

Bagrov V., KhNAHU

**Abstract.** In the field of work related to wear-resistant surfacing, numerous studies have been

carried out, highly effective methods of manual and mechanized surfacing, and high-quality surfacing materials have been developed.

The service characteristics of the weld metal intended for work in different wear conditions are determined, first of all, by the doping system and, as a consequence, by different phase composition and structure. In this case, the least favorable phase component is ferrite, since it has a low level of hardness, wear resistance, viscosity and resistance to fracture.

Alloying with bainite, martensitic-austenitic and martensitic matrices, including martensite aging, was widely used for restoring surfacing. However, significant content of scarce expensive elements (nickel, copper, cobalt, molybdenum, tungsten) in martensite-aging alloys limits their application. Now there was a need for the development of resource-saving alloys.

The methodology of the study included the development of surfacing powders, automatic surfacing with further study of the structure and phase composition of samples of the weld metal.

As a result of the study, it was found that when multi-layer surfacing, the previous rollers are heated above the point of the  $AS_1$ . In the process of cooling the sections heated above the point of the  $AS_1$ , the strength in the range of the least stable austenite depends on the running energy of the surfacing and the temperature of the previous layers. The following thermal insulation will contribute to the isothermal decomposition of austenite and the release of martensite, if it was in the structure of the metal. The formation of sorbitol from the above is facilitated by: relatively slow cooling associated with the change in the volume of the weld bath, the local increase in the temperature of the start of martensitic transformation (the formation of carbides and the reduction of carbon in the solid solution), the presence of chromium and a significant amount of manganese. In this case, the presence of titanium in the amount of 1,6–2,0% with a carbon content of 0,4–0,5% allows to obtain a carbon-free matrix with a carbide hardening phase. The hardness of the deposited metal in comparison with the martensite-troostite structure decreases by 4 – 6 HRCe.

**Key words:** titanium, surfacing, carbides, doped powder, structure.