

УДК 621.791

## **ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА ИЗНОСОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ, ЛЕГИРОВАННЫХ ТИТАНОМ**

**©Багров В. А.**

*Українська інженерно-педагогічна академія*

### **Інформація про автора:**

**Багров Валерій Анатолійович:** ORCID: 0000-0002-3014-9901; valerij011163@mail.ru; кандидат технічних наук; доцент кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Целью работы явилось повышения качества и износостойкости наплавленного металла путем усовершенствования состава легирующих порошков за счет оптимизации содержания титана и углерода.

Эксперимент проводили автоматической наплавкой с применением опытных легирующих порошков под флюс АН-22 проволокой Св-08А. В качестве основных легирующих добавок использовали титан, хром, марганец.

Установлено, что наличие титана в количестве 1,6-2,0 % при содержании углерода 0,4-0,5 % позволяет получить безуглеродистую матрицу с карбидной упрочняющей фазой. Твердость наплавленного металла в сравнении с мартенситно-трооститной структурой снижается незначительно на 4...6 НРСэ.

Разработан состав наплавочных сталей для работы в условиях ударно-абразивного изнашивания для электродуговой наплавки инструмента, содержащий систему легирования Cr-Mn-Ti на основе железа (при незначительном содержании Mo и V) и обеспечивающий высокое качество металла шва.

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

**Багров В. А.** «Формування структури і фазового складу зносостійких сталей, легованих титаном».

Метою роботи стало підвищення якості та зносостійкості наплавленого металу шляхом удосконалення складу легуючих порошків за рахунок оптимізації змісту титану і вуглецю.

Експеримент проводили автоматичним наплавленням із застосуванням дослідних легуючих порошків під флюсом АН-22 дротом Св-08А. В якості основних легуючих добавок використовували титан, хром, марганець.

Встановлено, що наявність титану в кількості 1,6-2,0 % при вмісті вуглецю 0,4-0,5 % дозволяє отримати безвуглецеву матрицю з карбідної зміцнюючої фазою. Твердість наплавленого металу в порівнянні з мартенситно-трооститною структурою знижується незначно на 4...6 НРСэ.

Розроблено склад наплавочних сталей для роботи в умовах ударно-абразивного зношування для електродугового наплавлення інструменту, що містить систему легування Cr-Mn-Ti на основі заліза (при незначному вмісті Mo і V) і забезпечує високу якість металу шва.

**Ключові слова:** титан; наплавлення; карбід; легований порошок; структура.

*Bagrov V.* “The formation of structure and phase composition of wear-resistant steels alloyed with titanium”.

The aim of this work was to improve the quality and durability of the surfacing metal by improving the alloying of powders by optimizing the content of titanium and carbon.

The experiment was conducted by automatic surfacing with the use of experienced alloying powders under flux AN-22 by wire Св-08А. The main alloying elements used titanium, chromium, manganese.

It is established that the presence of titanium in the amount of 1.6 to 2.0 % when the content of carbon of 0.4-0.5 % allows to obtain carbon-free matrix with a carbide hardening phase. The hardness of the deposited metal in comparison with martensitic-troostite structure is reduced slightly to 4...6 HRC.

The developed composition alloying steels for operation under conditions of impact-abrasive wear for TIG welding tool containing the alloying system Cr-Mn-Ti iron-based (with a low content of Mo and V) and provide a high quality of weld metal.

**Key words:** titanium; surfacing; carbide; alloy powder; structure.

### **1. Постановка проблемы**

Служебные характеристики наплавленного металла, предназначенного для работы в различных условиях трения, определяются прежде всего системой легирования, различным фазовым составом и структурой. 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 варьируется в пределах: 0,8...2,5 % углерода, 4...10 % марганца, 2...5 % хрома, 1,5...3,0 % титана, является титан. Карбиды титана имеют более высокую твердость, выше 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.

### **2. Анализ последних исследований**

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 следствием этого, различным фазовым составом и структурой. При этом наименее благоприятной фазовой составляющей является феррит, поскольку имеет невысокий уровень твердости, износостойкости, вязкости и сопротивляемости разрушению.

Для повышения износостойкости широкое применение получили стали не только с мартенситной, но и аустенитно-мартенситной, аустенитно-карбидной и мартенситностареющей структурой. Для работы деталей в условиях молекулярно-механического, ударно-абразивного и абразивного износа широкое распространение получили стали, имеющие карбиды и бориды, в ледебурит и остаточный аустенит либо карбидно-боридную упрочняющую фазу в аустенитно-

## Технологія машинобудування

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 удастся получить стали с упрочняющей карбидной и высокими физико-механическими характеристиками. Для этого при разработке наплавочных материалов используют различные карбидообразующие элементы – Cr, W, V, Nb и др. Наиболее широко применяемые износостойкие материалы в зависимости от вида износа приведены в табл. 1.

**Таблица 1** – Основные виды износа и системы легирования наплавочных сплавов на основе железа

Вид износа	Показатель износостойкости	Система легирования	Матрица
Молекулярно-механический	Относительная износостойкость $\varepsilon \sim K_{и} \cdot K_{е}^{-1}$ $K = HV^{\alpha} \cdot E^{-1} \cdot C^{\beta} \cdot \sigma^{0,5}$ $\varepsilon \sim K_{1C1}^2 \cdot K_{1C3}^2$	W-V-Cr Mo-W-V-Cr Cr-Mo-V Cr-Mn-Si	M, M+Б M, M+Б M, M+Б M, M+Ан Ан, Mc
Ударно-абразивный	$\varepsilon \sim \sigma_{ви} \cdot \delta_{и} \cdot \sigma_{ве}^{-1} \cdot \delta_{е}^{-1}$	Cr-W-V Ni-Co-Mo-Ti C-Cr-Mn	Ан+M Mc Ан+M
Абразивный	$\varepsilon \sim K_{и} \cdot HV_{и} \cdot K_{е}^{-1} \cdot HV_{е}^{-1}$	Cr-Si-Mn Cr-Si-B-Mn	Ан+Л Л, Ан

Обозначение: М – мартенсит, Б – бейнит, Л – ледебурит, Mc – мартенсит стареющий, Ан – аустенит метастабильный.

### 3. Экспериментальная часть

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 200x150x25 мм из стали 20, 500x300x40 мм из стали 45 и 400x50x40 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  $q_{п} \approx 15...20$  кДж/см.

Химический состав наплавленного металла определяли следующими методами: углерод – газообменным (ГОСТ 2604.1), кремний - весовым (ГОСТ 2604.3), марганец – объемным персульфатосеребряным (ГОСТ 2604.5), титан – фотометрическим (ГОСТ 2604.10). Послойное содержание легирующих элементов и фазовый состав определяли на установке ДРОН—3 в излучении  $K\alpha$ -Co (монокроматизированном). Съемку производили по схеме Брегга-Брентано. Результаты РФА приведены на дифрактограммах, где каждому пику соответствует своя фаза.

Для проведения структурного анализа образцы из наплавленного металла травили в реактиве Вилелла: 10 мл азотной кислоты, 20 мл соляной кислоты, 20 мл глицерина и 10 мл перекиси водорода. Распределение упрочняющей фазы в наплавленном металле оценивали точечным методом Глаголева [4] на микротвердомере ПМТ-3.

#### 4. Результаты исследований

Известно, что регулирование 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  $\alpha+K$ .

В табл. 2 приведены составы исследуемых наплавочных сталей по легирующему порошку.

**Таблица 2** – Химический состав металла при наплавке по легирующему порошку

Номер сплава	Доля участия электрода в металле шва, $m_3$ , %	Доля участия легирующего порошка в металле шва, $m_n$ , %	Состав металла шва, %				
			C	Cr	Mn	Ti	Si
1	21	56	<u>1,39</u>	<u>4,78</u>	<u>9,02</u>	<u>5,32</u>	<u>1,83</u>
			1,47	4,63	8,74	5,12	1,91
2	19,8	57,1	<u>1,28</u>	<u>4,81</u>	<u>9,66</u>	<u>5,14</u>	<u>1,89</u>
			1,34	4,90	9,45	5,23	1,82
3	20	54,3	<u>1,31</u>	<u>4,72</u>	<u>10,34</u>	<u>4,87</u>	<u>1,76</u>
			1,28	4,81	9,97	4,91	1,84
4	20	56	<u>1,41</u>	<u>4,75</u>	<u>11,01</u>	<u>5,4</u>	<u>1,92</u>
			1,38	4,9	10,78	5,23	1,85
5	19,5	55	<u>2,01</u>	<u>4,83</u>	<u>8,49</u>	<u>4,9</u>	<u>2,01</u>
			1,86	4,71	8,85	5,3	1,87
6	21,4	53,8	<u>1,87</u>	<u>4,97</u>	<u>10,29</u>	<u>3,96</u>	<u>1,83</u>
			1,59	4,8	9,6	3,81	1,95
7	21,9	54,5	<u>1,93</u>	<u>4,82</u>	<u>10,87</u>	<u>5,1</u>	<u>1,87</u>
			2,20	4,80	9,7	5,0	1,93

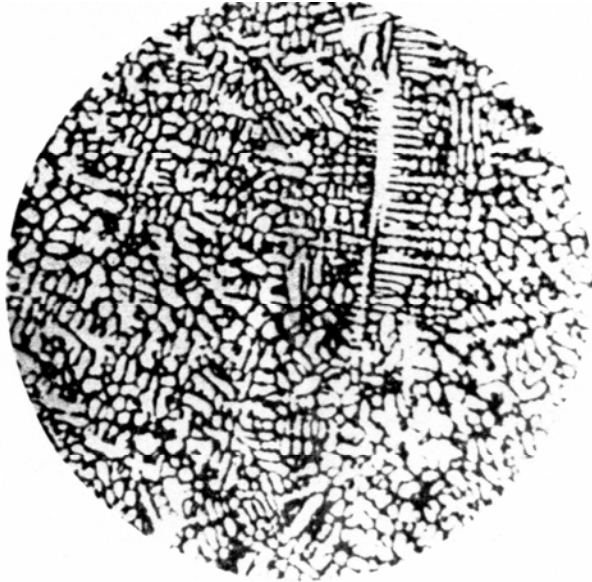
Примечание:

1. В числителе – расчетный, в знаменателе – фактический состав.
2. Постоянные величины: вылет электрода  $l_3=35$  мм;  $I_d=270$  А;  $U_d \approx 38$  В;  $U_n=34,5$  м/ч;  $U_{п.п.}=120$  м/ч; толщина слоя порошка – 4...5 мм.
3. Электрод – проволока марки Св-08Г2С, диаметр 2 мм.

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

**Технологія машинобудування**

Наплавленный металл типа 150X5Г9С2 с концентрацией титана порядка 5 % имеет сложную структуру. Структура кромки наплавленных валиков по схеме «горка» представляет собой ледебурит, состоящий из высоколегированного аустенита ( $A \approx 80\%$ ), карбидов и единичных участков мартенсита (рис. 1). Ближе к зоне сплавления структура состоит из аустенита и мартенсита крупноигльчатого ( $A \approx 50-55\%$ ). Величина зерна соответствует примерно 5-6 баллу стандартной шкалы.



**Рис. 1** – Структура сплава 150X5Г9Т5С2, X350

увеличение содержания титана в наплавленном металле до 6-6,5 % расширяет в кромке зону аустенита. Структура кромки состоит из карбидов и легированного аустенита. 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 крупноигльчатой структуры, состоящей из аустенита ( $\approx 80\%$ ), мартенсита и карбидов. Ближе к зоне сплавления (по условной границе) – крупноигльчатая аустенитно-мартенситная структура ( $A$  от 50 до 70 %). Зона сплавления состоит из аустенита, мартенсита и тонкой разорванной сетки карбидов (1...2 %).

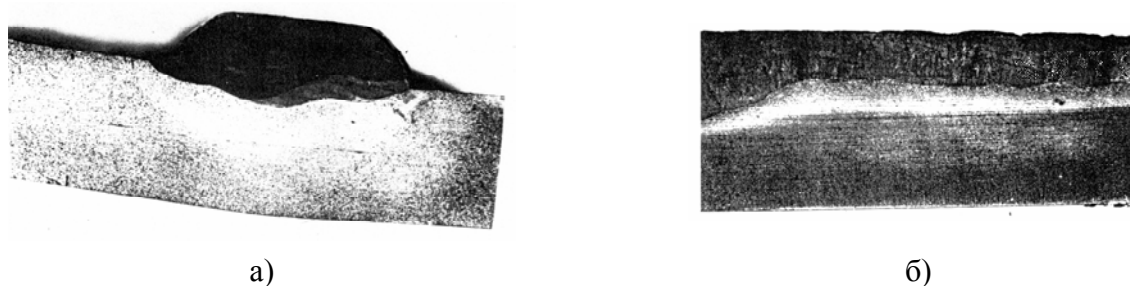
По мере удаления от кромки к основному металлу структура меняется слоями: крупноигльчатый аустенит и мартенсит ( $A \approx 70-75\%$ ), мелкоигльчатый мартенсит-аустенит ( $A \approx 20-25\%$ ), крупноигльчатый аустенит-мартенсит ( $A \approx 50-55\%$ ) и основной металл.

увеличение содержания углерода привело к заметному повышению твердости наплавленного металла на 8...10 HRC<sub>3</sub>.

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. Металл по сечению наплавленного металла плотный, трещин, несплавлений и других несплошностей нет (рис. 2).

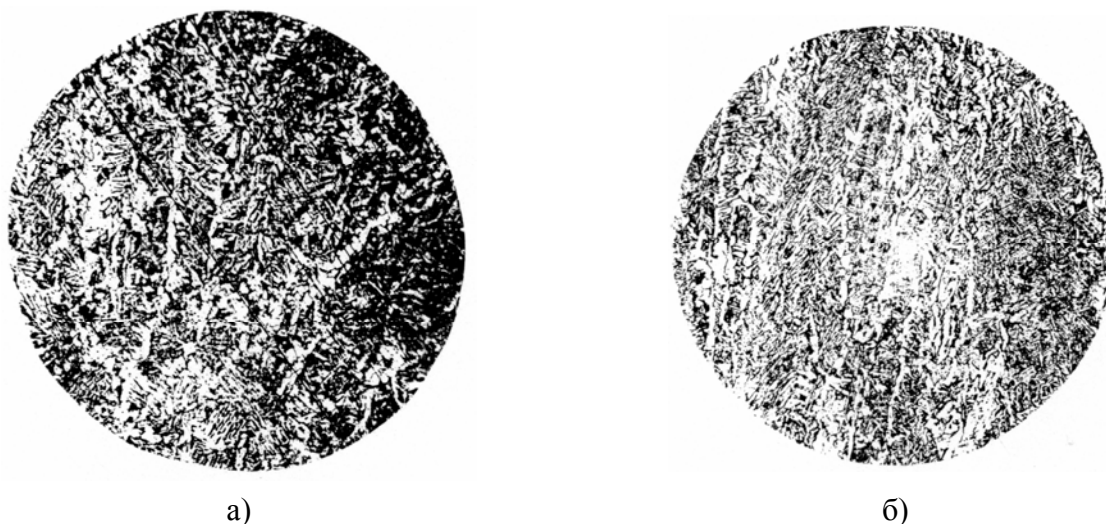
Наплавленный металл типа 40X3Г5Т2С2 с концентрацией марганца в пределах 4-5 % имеет структуру мартенсита и троостита. Микроструктура верхней части валика состоит из мелко- и среднеугольчатого мартенсита и включений нитевидных карбидов, ориентированных по сетке цепочками. Микроструктура наплавленного металла в светлой зоне нижней части валика состоит из троостита, ориентированного по средне- и крупноугольчатому мартенситу. Микроструктура остальной части нижнего валика состоит из мелко и среднеугольчатого мартенсита, участков троостита и мелких, тонких, нитевидных карбидов, ориентированных по разорванной сетке.



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

Увеличение марганца до 9-10 % при неизменном содержании остальных легирующих элементов приводит к получению микроструктуры тонкодисперсного строения, более мелкого, чем у сплава 40X3Г8Т2С3, 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

**Технологія машинобудування**

---

Получение структуры сорбита можно объяснить как увеличением в металле марганца, элемента аустенитизатора, 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. Повышение концентрации марганца снижает область мартенсита и приводит к появлению сорбита при близком содержании в сплавах других легирующих элементов (C, Cr, Ti, Si).

2. Наличие титана в количестве 1,6-2,0 % при содержании углерода 0,4-0,5 % позволяет получить безуглеродистую матрицу с карбидной упрочняющей фазой. Твердость наплавленного металла в сравнении с мартенситно-трооститной структурой снижается незначительно на 4...6 HRCэ.

**Список использованных источников:**

1. Кальянов В. Н. Структура и характеристика износостойкого экономнолегированного наплавленного металла / В. Н. Кальянов // *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. // *Автоматическая сварка*. – 1993. – № 10. – С. 34-36.
3. Потапов Н. Н. Основы выбора флюсов при сварке сталей / Н. Н. Потапов. – М. : Машиностроение, 1979. – 168 с.
4. Справочник по практическому металлосведению / В. Л.Пилошенко, Б. Б. Винокур, С. Е. Кондратюк и др. – К. : Техніка, 1984. – 135 с.
5. Лившиц Л. С. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений / Л. С. Лившиц, А. Я. Хакимов. – М. : Машиностроение, 1980. – 336 с.
6. Пикеринг Ф. Б. Физическое металлосведение и разработка сталей / Ф. Б. Пикеринг ; под ред. Г. В. Щербинского. – М. : Металлургия, 1982. – 184 с.

**References**

1. Kalyanov, V 1997, 'Struktura i kharakteristika iznosostoykogo ekonomnolegirovannogo naplavlennogo metalla', *Svarochnoye proizvodstvo*, no. 4, pp. 13-17.
2. Mikaelyan, G, Ryabtsev, I & Vasilev, V 1993, 'Primeneniye staley PNP v kachestve naplavochnykh materialov dlya povysheniya ustalostnoy prochnosti naplavlennykh detaley', *Avtomaticheskaya svarka*, no. 10, pp. 34-36.
3. Potapov, N 1979, *Osnovy vybora flyusov pri svarke staley*, Mashinostroyeniye, Moskva.
4. Pilyushenko, V, Vinokur, B & Kondratyuk, S 1984, *Spravochnik po prakticheskomu metallovedeniyu*, Tekhnika, Kiev.
5. Livshits, L & Khakimov A 1980, *Metallovedeniye svarki i termicheskaya obrabotka svarnykh soedineniy*, Mashinostroyeniye, Moskva.
6. Pikerin, F 1982, *Fizicheskoye metallovedeniye i razrabotka staley*, Metallurgiya, Moskva.

Стаття надійшла до редакції 20 квітня 2016 р.