

УДК 621.791

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Cr-Mn-Mo-Ti НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА**

**©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.

Цель работы: разработка и совершенствование экономнолегированных износостойких сталей и совершенствование имеющихся для восстановления и повышения стойкости и долговечности инструмента горячей обработки металла.

Эксперимент проводили автоматической наплавкой сварочными проволоками по слою легированного порошка с последующим исследованием химического состава и структуры наплавленного металла.

Установлено, что увеличение содержания Mn и Cr в наплавленном металле снижают активность углерода; увеличение количества фазы TiC повышает внутреннюю теплоту наплавленного металла. Повышению теплостойкости сплавов системы Cr-Mn-Ti на основе железа способствует увеличение содержания фазы [TiC]; введение [Mo] стабилизирует значения твердости при повышенных температурах, повышает теплостойкость и твердость.

На основании проведенных исследований разработана новая порошковая проволока, которая обеспечивает при наплавке химический состав стали 0,16...0,21 % C, 8,3...9,4 % Mn, 4,5...5,3 % Mo, 1,8...2,7 % Ti, до 1 % Si.

**Ключевые слова:** наплавка; порошковая проволока; легированный флюс; структура.

**Багров В. А.** «Удосконалення сплавів системи Cr-Mn-Mo-Ti на основі заліза».

Мета роботи: розробка і вдосконалення економічнолегованих зносостійких сталей і вдосконалення наявних для відновлення і підвищення стійкості і довговічності інструменту гарячої обробки металу.

Експеримент проводили автоматичним наплавленням зварювальними дротами з легованому шару порошку з наступним дослідженням хімічного складу і структури наплавленого металу.

Встановлено, що збільшення вмісту Mn та Cr в наплавленому металі знижують активність вуглецю; збільшення кількості фази TiC підвищує внутрішню теплоту наплавленого металу. Підвищення теплостійкості сплавів системи Cr-Mn-Ti на основі заліза сприяє збільшення вмісту фази [TiC]; введення [Mo] стабілізує значення твердості при підвищених температурах, підвищує теплостійкість і твердість.

На підставі проведених досліджень розроблено новий порошковий дріт, який забезпечує при наплавленні хімічний склад сталі 0,16...0,21 % C, 8,3...9,4 % Mn, 4,5...5,3 % Mo, 1,8...2,7 % Ti, до 1 % Si.

**Ключові слова:** наплавлення; порошковий дріт; легований флюс; структура.

**Bagrov V.** “The improved alloys of the system Cr-Mn-Mo-Ti iron-based”.

Objective: development and improvement of economically alloyed wear-resistant steels and the improvement of existing to restore and increase the stability and durability of the tool handling hot metal.

The experiment was conducted by automatic surfacing welding wires on a layer of doped powder with a follow-up study of the chemical composition and structure of weld metal.

It is established that the increased content of Mn and Cr in the weld metal and reduce the activity of carbon; increasing the amount of TiC phase increases internal warmth of the deposited metal. To improve the heat resistance of alloys of the system Cr-Mn-Ti Fe-based contributes to the increase in the maintenance phase [TiC]; introduction [Mo] stabilizes the hardness values at elevated temperatures, improves thermal stability and hardness.

On the basis of the conducted researches developed a new flux-cored wire which provides for welding chemical composition of steel...0,16 0,21 % C, 8,3...9,4 % Mn, and 4.5...to 5.3 % Mo, 1.8...2.7 % of Ti, up to 1 % Si.

**Keywords:** surfacing; flux-cored wire; alloyed; flux structure.

### **1. Постановка проблемы**

Исследования, направленные на снижение энерго- и ресурсозатрат при восстановительной наплавке обрабатывающего 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 экономнолегированными покрытиями и шихтой, применением оптимального способа их наплавки с учетом особенностей поведения материалов в реальных условиях. Особое внимание при совершенствовании наплавочных материалов уделяется материаловедческим разработкам износостойких экономнолегированных сплавов.

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

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.

Исследования, проведенные в проблемной лаборатории металловедения УПИ им. С. М. Кирова и, завершившееся разработкой материалов, работающих в условиях кавитации (стали 30X10Г10 и ОХ14АГ12М), положили начало разработке нового класса метастабильных аустенитных сталей, высокая эксплуатационная стойкость которых обеспечивается превращением аустенита в мартенсит в поверхностном слое деталей в процессе их нагружения.

Исследование общих закономерностей и роли деформационных мартенситных превращений в формировании свойств сталей проведено в работе [1]. На основе комплексного изучения взаимосвязи деформационного мартенситного превращения с физико-механическими свойствами метастабильных аустенитных сталей, а также стойкости их при различных видах

контактного нагружения были разработаны три основные группы износостойких сталей системы Fe-C-Cr-Mn, отличающиеся по содержанию углерода, марганца и хрома, предназначенных для различных условий эксплуатации в отношении воздействия истирающих и ударных нагрузок:

- 1) 0,5-0,7 % C, 7-10 % Mn, 3-5 % Cr;
- 2) 0,8-0,9 % C, 6-9 % Mn, 2-4 % Cr;
- 3) 1,0-1,4 % C, 6-9 % Mn, 0,8-2,5 % Cr.

В работах [2, 3] показана возможность значительного повышения износостойкости материала с различной долей метастабильного аустенита.

Изучению износостойкости материалов посвящено ряд работ, в которых нет единого мнения о влиянии твердости и структуры на износостойкость. В работах [3, 4] показано, что износостойкость возрастает в зависимости от увеличения твердости, а в работах [4, 5] – от структуры металла.

Для повышения износостойкости деталей и узлов в промышленности применяют значительное количество разнообразных материалов, которые классифицируют с учетом способности противостоять различным видам изнашивания. 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-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 интерметаллидной фазами 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.

### **3. Экспериментальная часть**

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 порошковыми проволоками с системами легирования Cr-Mn-Ti и Cr-Mn-Mo-Ti на основе железа был принят флюс АН-22. Исходная основность флюса АН-22 -  $B=1,4668$ , химическая активность -  $A_f=0,1819$ .

Вырезку образцов для исследования химического и фазового составов, механических свойств из наплавленного металла производили абразивными отрезными кругами с последующей шлифовкой и полировкой.

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.

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

Вид износа	Показатель износостойкости	Система легирования	Матрица
Молекулярно-механический	Относительная износостойкость $\varepsilon \sim K_{и} \cdot K_{е}^{-1}$ $K = HV^{\alpha} \cdot E^{-1} \cdot C^{\beta} \cdot \sigma^{0,5}$ $\varepsilon \sim K_{1C1}^2 \cdot K_{1C3}^2$ HV - твердость, C - эквивалентная концентрация углерода; E - модуль упругости; $\sigma$ - относительное удлинение; $K_{1c}$ - критический коэффициент интенсивности напряжений.	W-V-Cr Mo-W-V-Cr Cr-Mo-V Cr-Mn-Si	M, M+B M, M+B M, M+B M, M+An An, Mc
Ударно-абразивный		Cr-W-V Ni-Co-Mo-Ti C-Cr-Mn	An+M Mc An+M
Абразивный	$\varepsilon \sim \sigma_{ви} \cdot \delta_{и} \cdot \sigma_{ве}^{-1} \cdot \delta_{е}^{-1}$ $\sigma_{ви}, \sigma_{ве}$ - предел прочности сплавов; $\delta_{и}, \delta_{е}$ - интенсивная предельная деформация.  $\varepsilon \sim K_{и} \cdot HV_{и} \cdot K_{е}^{-1} \cdot HV_{е}^{-1}$ $K_{и}, K_{е}$ - опытные коэффициенты для исследуемого и эталонного сплавов.	Cr-Si-Mn Cr-Si-B-Mn	An+L L, An

Обозначение: M – мартенсит, Б – бейнит, Л – ледебурит, Mc – мартенсит стареющий, An – аустенит метастабильный.

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 на микротвердомере ПМТ-3.

#### 4. Результаты исследований

В связи с необходимостью регулирования состава, структуры и свойств износостойких слоев, применяли наплавку по слою легированного порошка, под керамическим флюсом и порошковыми проволоками с подачей обесточенной присадки в сварочную ванну. Исследовали стали с мартенситной и мартенситноаустенитной основой.

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

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. Ближе к зоне сплавления структура состоит из аустенита и мартенсита крупноигльчатого ( $A \approx 50-55\%$ ). Величина зерна соответствует примерно 5-6 баллу 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. 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 %).

**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
4	20	56	<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
5	19,5	55	<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
6	21,4	53,8	<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
7	21,9	54,5	<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
			<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.

Исследования влияния температуры на твердость сплавов показали, что в интервале температур 293...870 К твердость снижается незначительно. Снижение твердости на 8...10 HRC в данном интервале температур свидетельствует о высокой теплостойкости сплавов систем Cr-Mn-Ti и Cr-Mn-Mo-Ti. Одним из показателей теплостойкости сталей является пластичность. Анализ пластичности этих сталей после вторичного твердения показал, что она выше, чем у сталей 50XHM и 35X4B3M3Ф, и не уступает никелевым мартенситностареющим сплавам.

### **Выводы**

Износостойкость сплавов, применяемых для восстановления деформирующего инструмента, в значительной степени определяется химическим составом, структурой и распределением упрочняющей фазы в наплавленных слоях. В результате проведенных лабораторных исследований установлено:

- увеличение содержания Mn и Cr в наплавленном металле снижают активность углерода как карбидообразующего элемента; увеличение количества фазы TiC повышает внутреннюю теплоту наплавленного металла при экзогенном ее вводе;

- повышению теплостойкости сплавов системы Cr-Mn-Ti на основе железа способствует увеличение содержания фазы [TiC]; введение [Mo] стабилизирует значения твердости при повышенных температурах, повышает теплостойкость и твердость при дисперсионном твердении.

### **Список использованных источников:**

1. Филиппов М. А. Стали с метастабильным аустенитом / М. А. Филиппов, В. С. Литвинов, Ю. Р. Немировский. – М. : Металлургия, 1988. – 256 с.
2. Кальянов В. Н. Структура и характеристика износостойкого экономнолегированного наплавленного металла / В. Н. Кальянов // *Сварочное производство*. – 1997. – № 4. – С. 13–17.
3. 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.
4. Влияние структуры на износостойкость чугунов и сталей / А. И. Ступина, В. В. Зотов, Л. И. Сидоров, И. С. Кошелев // *Металлургическое машиностроение и ремонт оборудования*. – 1979. – № 8. – С. 98–99.
5. Kal'yanov V. N. Increasing the endurance of rolling rolls by depositing an efficiently alloyed steel / V. N. Kal'yanov, A. V. Novitskaya // *Welding International*. – 1998. – N 12 (4). – P. 322-325, doi:10.1080/09507119809448494

### **References**

1. Filippov, M, Litvinov, V & Nemirovskiy, Yu 1988, *Stali s metastabilnym austenitom*, Metallurgiya, Moskva.
2. Kalyanov, V 1997, 'Struktura i kharakteristika iznosostoykogo ekonomnolegirovannogo naplavlennogo metalla', *Svarochnoye proizvodstvo*, no. 4, pp. 13-17.
3. Mikaelyan, G, Ryabtsev, I & Vasilyev, V 1993, 'Primeneniye staley PNP v kachestve naplavochnykh materialov dlya povysheniya ustalostnoy prochnosti naplavlennykh detaley', *Avtomaticheskaya svarka*, no. 10, pp. 34-36.
4. Stupina, A, Zotov, V, Sidorov, L & Koshelev, I 1979, 'Vliyaniye struktury na iznosostoykost chugunov i staley', *Metallurgicheskoye mashinostroeniye i remont oborudovaniya*, no. 8, pp. 98-99.
5. Kalyanov, V & Novitskaya, A 1998, 'Increasing the endurance of rolling rolls by depositing an efficiently alloyed steel', *Welding International*, no. 12 (4), pp. 322-325, doi:10.1080/09507119809448494

Стаття надійшла до редакції 26 листопада 2015 р.