

УДК 621.791

**ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ЛЕГИРОВАНИЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УПРОЧНЯЮЩЕЙ  
ФАЗЫ В НАПЛАВЛЕННЫХ СЛОЯХ**

©Багров В. А.

*Українська інженерно-педагогічна академія*

**Інформація про автора:**

**Багров Валерій Анатолійович:** ORCID: 0000-0002-3014-9901; havetabanka@ukr.net; кандидат технічних наук; доцент кафедри технології металів та матеріалознавства; Харківській національний автомобільно-дорожній університет; вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна.

Целью работы является разработка и усовершенствование износостойких наплавочных сталей для восстановления штампов горячей обработки металла путем регулирования состава наплавленного металла долей участия обесточенной порошковой проволоки в сварочной ванне. При этом состав обесточенной порошковой проволоки может соответствовать составу электродной порошковой проволоки.

Методологически работа выполнена следующим образом: на основе анализа литературных источников и произведенных исследований изучены методы легирования и наплавочные материалы для восстановления штампов горячей обработки металла. Это позволило выявить особенности различных технологий наплавки штампов. Анализ применяемых методов легирования наплавленного металла на распределение упрочняющей фазы показал, что они имеют как преимущества, так и недостатки. На основании этого были разработаны порошковые проволоки системы Cr-Mn-Mo-Ti и предложена технология их нанесения.

Установлено, что повышение износостойкости стали 20X3Г9М5Т2С достигнуто за счет дополнительного диффузионного образования карбидной фазы при старении, повышения контактной прочности и микропластичности поверхностного слоя, значительного количества и равномерного распределения в объеме наплавленного металла карбидной фазы.

**Ключевые слова:** сталь; наплавка; порошковая проволока; карбиды титана.

**Багров В. А.** «Вплив способу легування на розподіл зміцнюючої фази в наплавлених шарах».

Метою роботи є розробка та удосконалення зносостійких наплавочних сталей для відновлення штампів гарячої обробки металу шляхом регулювання складу наплавленого металу часткою участі знеструмленого порошкового дроту в зварювальній ванні. При цьому склад знеструмленого порошкового дроту може відповідати складу електродного порошкового дроту.

Методологічно робота виконана таким чином: на основі аналізу літературних джерел і проведених досліджень вивчені методи легування і наплавочні матеріали для відновлення штампів гарячої обробки металу. Це дозволило виявити особливості різних технологій наплавлення штампів. Аналіз застосовуваних методів легування наплавленого металу на розподіл фази, що зміцнює, показав, що вони мають як переваги, так і недоліки. На підставі цього були розроблені порошкові дроти системи Cr-Mn-Mo-Ti і запропонована технологія їх нанесення.

Встановлено, що підвищення зносостійкості сталі 20X3Г9М5Т2С досягнуто за рахунок додаткового дифузійного утворення карбидної фази при старінні, підвищення

контактної міцності і мікропластичності поверхневого шару, значної кількості і рівномірного розподілу в обсязі наплавленого металу карбідної фази.

**Ключові слова:** сталь; наплавлення; порошковий дріт; карбіди титану.

**Bagrov V.** “Influence of the Method of Alloying on the Allotment of the Simple Phase in Surfacing Layers”.

The aim of the work is the development and improvement of wear-resistant surfacing steels for the restoration of hot metal stamping dies by regulating the composition of the weld metal in the parts of the de-energized flux-cored wire in the weld pool. In this case, the composition of the de-energized flux cored wire can correspond to the composition of the electrode powder cored wire.

Methodologically, the work is performed as follows: based on the analysis of literature sources and the studies carried out, methods of alloying and surfacing materials for the restoration of hot metal stamps are studied. This allowed us to identify the features of various technologies for welding dies. The analysis of the applied methods of alloying the weld metal on the distribution of the strengthening phase showed that they have both advantages and disadvantages. Based on this, the flux-cored wires of the Cr-Mn-Mo-Ti system were developed and the technology of their application was proposed.

It is established that the increase in wear resistance of 20X3Г9М5Т2С steel is achieved due to additional diffusion formation of the carbide phase during aging, increasing the contact strength and microplasticity of the surface layer, a significant amount and uniform distribution of the carbide phase in the weld metal.

**Key words:** steel; surfacing; flux-cored wire; titanium carbides.

## **1. Постановка проблемы**

В настоящее время 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.

Проблема снижения энерго- и ресурсозатрат при наплавке штампового инструмента может быть решена применением дисперсионнотвердеющих сплавов, ограниченно легированных хромом (до 3%), увеличением количества карбидной фазы за счет введения титана, замены никеля на марганец и применением для их нанесения наплавки с обесоченной присадкой.

## **2. Анализ последних исследований**

Для более полного использования прочностных характеристик сталей и в то же время получения оптимального сочетания свойств, необходимых для их успешной эксплуатации, большое значение имеет механизм их упрочнения.

Весьма перспективными по своим технологическим и механическим свойствам являются мартенситностареющие стали. Их применение имеет ряд преимуществ перед металлом мартенситного класса: возможность наплавки без предварительного и сопутствующего

## **Технологія машинобудування**

---

подогрева; сравнительно невысокая исходная твердость, позволяющая производить механическую обработку наплавленных изделий резанием; простота термической обработки.

Однако высокая стоимость и дефицитность таких легирующих элементов, как никель и кобальт, ограничивают широкое применение этих сплавов [1, 2]. Поэтому особое внимание заслуживают так называемые экономнолегированные мартенситностареющие стали, получившие применение для инструментов. Особенностью этих сталей является содержание никеля в интервале концентраций 6-12 % при дополнительном легировании хромом, марганцем, молибденом, вольфрамом и ванадием. В случае применения сплавов с меньшим содержанием никеля (до 3 %) в качестве элемента замещения используют медь до 2 %.

### **3. Экспериментальная часть**

Наплавку выполняли однослойную трактором ТС-17М под флюсом АН-22 порошковыми проволоками с обесточенной присадкой, подаваемой в головную часть сварочной ванны. Режимы -  $I_d \approx 300 \dots 320$  А;  $U_d \approx 34 \dots 36$  В;  $U_n \approx 23,7$  м/ч;  $U_{п.э.} \approx 93,75$  м/ч. Доля участия обесточенной присадки изменялась в пределах 0...75%.

Твердость при повышенных температурах определяли на прямоугольных образцах при нагреве проходящим током на установке, приведенной на рис. 1.

В состав установки входили:

- твердомер типа ТК-2;
- двухкоординатное устройство для крепления образцов;
- нагреватель (контактная машина для стыковой сварки);
- токопроводящие шины.

Нагрев осуществляли до температуры  $T \approx 1100$  К, охлаждение – на воздухе либо с периодическим подогревом проходящим током.

Определение твердости и исследование структуры наплавленного металла произведено в следующих зонах: верхний валик –  $y_1 = 8 \dots 11$  мм ( $n=12$ ,  $x=520$ ,  $s^*=2,57$ ); вблизи верхнего валика –  $y_2 = 3 \dots 6$  мм ( $n=11$ ,  $x=502$ ,  $s^*=2,84$ ); середина нижнего валика -  $y_3 = 0,5 \dots 3,0$  мм ( $n=7$ ,  $x=501$ ,  $s^*=3,64$ ); по линии сплавления –  $y_4 = -0,5 \dots 0,5$  мм ( $n=8$ ,  $x=495$ ,  $s^*=1,936$ ), где  $n$  – количество измерений,  $x$  – среднее арифметическое значение твердости,  $s^*$  - среднее квадратическое отклонение измеряемых величин.

### **4. Результаты исследований**

Исследовано распределение карбидов в наплавленном металле системы С-Сг-Мn-Мо-Si для различных вариантов механизированной наплавки. В результате рентгеноструктурного анализа в исследуемых сплавах были выявлены следующие фазы: TiC и (Fe, Cr)<sub>23</sub>C<sub>6</sub>. Выделение карбидов на границах зерен в процессе охлаждения из аустенитного состояния исследовано во многих работах [2, 3]. Атомы углерода, входящие в твердый раствор по типу внедрения, легко диффундируют на границы, где происходит кристаллизация карбидов. Процесс выделения карбидов с учетом диффузии состоит из следующих стадий:

- 1) диффузия атомов углерода, находящихся внутри зерен в пересыщенном состоянии на границы зерен;
- 2) образование и рост карбидов на границах зерен в результате реакции взаимодействия углерода с титаном;
- 3) диффузия хрома к атомам углерода, несвязанным в карбиды титана.

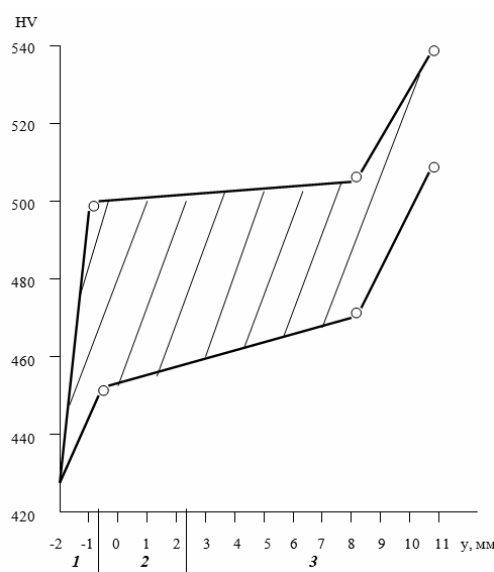
В исследуемых сталях, растворенный в металлическом расплаве, углерод образует карбиды с хромом и титаном, имеющие более низкие молярные свободные энергии в сравнении с карбидами железа и марганца. Распределение карбидов исследовали в сталях с содержанием углерода 2-2,5 %, титана – 3,5-6,2 %.

Анализ распределения карбидов методом Глаголева показал, что при наплавке порошковой проволокой с подачей обесточенной присадки зафиксировано более равномерное распределение карбидов в сравнении с наплавкой под керамическим флюсом. Наплавка порошковой проволокой с карбидами титана в шихте без обесточенной присадки также обеспечивает равномерное распределение карбидов по сечению шва, но для получения заданного химического состава металла требуется 3...4-слойная нанесение в сравнении с наплавкой с обесточенной присадкой [4].

Распределение твердости по высоте наплавленного металла показано на рис. 2.



**Рис. 1** – Установка для измерения твердости при повышенных температурах



**Рис. 2** – Изменение твердости по высоте наплавленного металла У150Х5Г10Т5С2: 1 – основной металл; 2 – зона сплавления; 3 – наплавленный слой

Химический состав исследуемых сплавов и объемная доля, относящаяся к выделившимся карбидам, приведены в табл. 1.

**Таблиця 1** – Хімічний склад і об'ємна доля карбидної фази досліджуваних сплавів

№ сплава	Хімічний склад сплава, %					Об'ємна доля упрочнюючої фази, %
	C	Cr	Mn	Ti	Si	
1	1,47	4,63	8,74	5,12	1,91	7,35
2	1,34	4,90	9,45	5,23	1,82	6,70
3	1,28	4,81	9,97	4,91	1,84	6,40
4	1,38	4,9	10,78	5,23	1,85	6,90
5	1,86	4,71	8,85	5,3	1,87	9,30
6	1,59	4,80	9,6	3,81	1,95	7,95
7	2,20	4,80	9,7	5,0	1,93	11,00
8	0,4	2,64	4,6	1,33	1,08	1,97
9	0,48	3,28	5,72	1,62	1,11	2,40
10	0,53	4,36	7,60	2,19	1,10	2,65
11	0,57	4,72	8,22	2,38	1,12	2,85
12	0,5	3,20	5,90	1,40	1,3	2,01
13	0,7	3,10	6,10	1,30	1,5	1,81

Примечание: 1...7 – наплавка по слою легирующего порошка, Ti+C;

8...11 – наплавка порошковой проволокой с обесточенной присадкой, Ti+C;

12, 13 – наплавка порошковой проволокой с карбидом титана в шихте.

### Выводы

Повышение износостойкости стали 20X3Г9М5Т2С достигнуто за счет дополнительного диффузионного образования карбидной фазы при старении, повышения контактной прочности и микропластичности поверхностного слоя, значительного количества и равномерного распределения в объеме наплавленного металла карбидной фазы.

### Список использованных источников:

1. Кондратьев А. А. Самозащитная порошковая проволока для наплавки слоя мартенситностареющей стали / А. А. Кондратьев // *Автоматическая сварка*. – 1994. – № 1. – С. 49-51.
2. Каковкин О. С. Особенности легирования наплавленного металла карбидом титана при дуговой износостойкой наплавке / О. С. Каковкин, Ю. Д. Дарахвелидзе, Г. Г. Старченко // *Сварочное производство*. – 1999. – № 5. – С. 41-42.
3. Башмакова Т. Н. Влияние легирования на образование карбидной фазы, структуру и свойства наплавленного металла системы Fe-C-Cr / Т. Н. Башмакова // *Автоматическая сварка*. – 1998. – № 12. – С. 39-42.
4. Кальянов В. Н. Обоснование выбора ресурсосберегающих технологий наплавки / В. Н. Кальянов, В. А. Багров // *MicroCAD 2000 : International Meeting of Information Technology*. (Kharkov, 24-25, May 2000).

### References

1. Kondratyev, A 1994, 'Samozashchitnaya poroshkovaya provoloka dlya naplavki sloya martensitnostareyushchey stali', *Avtomaticheskaya svarka*, no. 1, pp. 49-51.
2. Kakovkin, O, Darakhvelidze, Yu & Starchenko, G 1999, 'Osobennosti legirovaniya naplavlennogo metalla karbidom titana pri dugovoy iznosostoykoy naplavke', *Svarochnoye proizvodstvo*, no. 5, pp.41-42.
3. Bashmakova, T 1998, 'Vliyaniye legirovaniya na obrazovaniye karbidnoy fazy, strukturu i svoystva naplavlennogo metalla sistemy Fe-S-Sr', *Avtomaticheskaya svarka*, no. 12, pp. 39-42.
4. Kalyanov, V & Bagrov, V 2000, 'Obosnovaniye vybora resursosberegayushchikh tekhnologiy naplavki', *MicroCAD 2000. International Meeting of Information Technology*. Kharkov, 24-25 May.

Стаття надійшла до редакції 7 червня 2017 р.