

УДК 621.791

**СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ИЗНОСОСТОЙКИХ НАПЛАВОЧНЫХ  
ВТОРИЧНОТВЕРДЕЮЩИХ СТАЛЕЙ**

©Багров В. А., Дерябкина Е. С.

*Українська інженерно-педагогічна академія***Інформація про авторів:**

**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.

**Дерябкина Євгенія Станіславівна:** ORCID: 0000-0002-5531-0124; 216464@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 – повышение износостойкости и теплостойкости вторичнотвердеющих наплавочных сталей путем усовершенствования состава легирующих порошковых проволок с применением обесточенной присадки за счет оптимизации содержания титана, молибдена и хрома.

Методика экспериментирования включала: физико-механические, химические, металлографические исследования, испытания теплостойкости наплавленного металла порошковыми проволоками.

Установлено, что повышению теплостойкости сплавов системы Cr-Mn-Ti на основе железа способствует увеличение содержания карбидной фазы [TiC]; введение [Mo] стабилизирует значения твердости при повышенных температурах, повышает теплостойкость и твердость при дисперсионном твердении. Высокие показатели теплостойкости и износостойкости стали 20X3Г9M5T2C достигнуты 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.

Разработан состав наплавочных порошковых проволок для восстановления штампового инструмента из инструментальных сталей типа 5ХНМ в условиях молекулярно-механического износа при повышенных температурах.

**Ключевые слова:** сталь; наплавка; износостойкость; теплостойкость; структура.

**Багров В. А., Дерябкина Е. С.** «Структура і властивості зносостійких наплавочних вториннотвердіючих сталей».

Мета роботи – підвищення зносостійкості і теплостійкості вториннотвердіючих наплавочних сталей шляхом удосконалення складу легируючих порошкових дротів із застосуванням знеструмленій присадки за рахунок оптимізації змісту титану, молібдену і хрому.

Методика експериментів включала: фізико-механічні, хімічні, металографічні дослідження, випробування теплостійкості наплавленого металу порошковими дротами.

Встановлено, що підвищення теплостійкості сплавів системи Cr-Mn-Ti на основі заліза сприяє збільшенню вмісту карбідної фази [TiC]; введення [Mo] стабілізує значення

твердості при підвищених температурах, підвищує теплостійкість і твердість при дисперсійному твердінні. Високі показники теплостійкості і зносостійкості сталі 20X3Г9М5Т2С досягнуто за рахунок додаткового дифузійного утворення карбідної фази при старінні, підвищення контактної міцності і мікропластичності поверхневого шару, значної кількості і рівномірного розподілу в об'ємі наплавленого металу карбідної фази.

Розроблено склад наплавочних порошкових дротів для відновлення штампового інструменту з інструментальних сталей типу 5ХНМ в умовах молекулярно-механічного зношування при підвищених температурах.

**Ключові слова:** сталь; наплавлення; зносостійкість; теплостійкість; структура.

*Bagrov V., Deriabkina I.* “Structure and Properties of Wear-Resistant Surfacing of Secondary Hardening Steels”.

Purpose – the improvement of wear resistance and heat resistance secondary hardening surfacing of steels by optimization of composition of alloying flux-cored wires are de-energized with the use of additives for optimizing the content of titanium, molybdenum and chromium.

Methods of experimentation included: physical, mechanical, chemical, metallographic tests, test of heat resistance of deposited metal cored wires.

It is established that the increase of heat resistance of alloys of the system Cr-Mn-Ti iron-based contributes to the increase in the content of carbide phase [TiC]; introduction [Mo] stabilizes the hardness values at elevated temperatures, improves heat resistance and hardness of the dispersion hardening. High levels of heat resistance and wear resistance of steel 20X3Г9М5Т2С achieved by additional diffusion of the carbide phase formation during aging, increasing the contact strength and microplasticity surface layer, a significant amount and uniform distribution in the volume of the deposited metal carbide phase.

Developed composition of surfacing flux-cored wires to restore the punching tools made of tool steel of the type 5ХНМ in terms of the molecular-mechanical wear at elevated temperatures.

**Key words:** steel; welding; wear resistance; heat resistance; structure.

### **1. Постановка проблемы**

Проблемы прочности и долговечности восстановленного штампового инструмента в инженерных приложениях объединяют широкий круг научных и технических задач и сводятся к учету факторов, лимитирующих стойкость восстановленного наплавкой изделия. Такими факторами могут быть: значительное формоизменение инструмента в результате упруго-пластических деформаций, разрушение материалов вследствие наличия концентраторов напряжений и деформаций, постепенное разрушение поверхности вследствие износа или вредного действия среды, а также из-за потери теплостойкости или усталости материала, ползучести и т.д.

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**

Инструмент вырубных штампов при горячей обработке предназначен для выполнения основной операции - пластической деформации металла при высоких температурах. Для высокопроизводительной работы штампового инструмента гравюры матриц должны обладать достаточной твердостью, сопротивлением сжатию, изгибу и противостоять динамическим нагрузкам, высоким сопротивлением истиранию, теплостойкостью, иметь хорошую обрабатываемость поверхности рабочих частей. Стойкость штампового инструмента определяется технологическими условиями эксплуатации и напряженно-температурными факторами, связанными с его геометрией и свойствами обрабатываемого металла.

Одним из основных факторов, влияющих на долговечность штампового инструмента, является температура.

Максимальная температура нагрева поверхности гравюр в местах соприкосновения с деформируемыми заготовками составляет от 500 до 850 К, а толщина слоя металла, испытывающая смену нагрева и охлаждения, составляет от 3 до 7 мм.

Кроме того, при ударном контакте в процессе штамповки поверхность гравюр испытывает значительные нормальные и тангенциальные нагрузки, деформирующие поверхностный слой штампового инструмента.

Другим фактором, влияющим на величину износа, является окисление металла, что вызывает рост коэффициента трения, а, следовательно, способствует интенсивности изнашивания. Интенсивное окисление металла вдоль сформировавшихся трещин приводит к их дальнейшему развитию. Также могут иметь место и процессы расклинивания оснований трещин, вышедших на поверхность металла, адсорбированными из окружающей среды поверхностно-активными веществами. Большое значение имеет правильное охлаждение рабочего инструмента при штамповке.

В отдельных местах гравюр в процессе работы может происходить схватывание 1 и 2 рода.

Для увеличения срока службы штампового инструмента необходимо по возможности сократить период приработки, максимально увеличить период установившегося износа и предупредить наступление усиленного.

## **3. Экспериментальная часть**

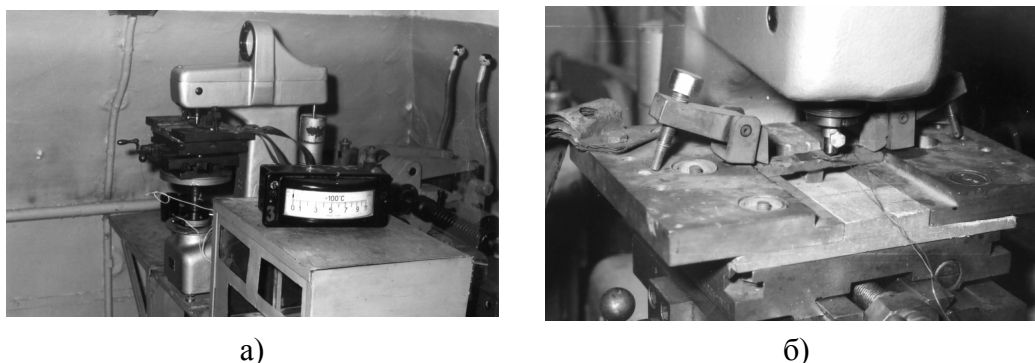
Наплавку выполняли однослойную трактором ТС-17М под флюсом порошковыми проволоками с обесточенной присадкой, подаваемой в головную часть сварочной ванны. Режимы -  $I_d \approx 300 \dots 320$  А;  $U_d \approx 34 \dots 36$  В;  $U_H \approx 23,7$  м/ч;  $U_{п.э.} \approx 93,75$  м/ч. Доля участия обесточенной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



**Рис. 1** – Установка для измерения твердости при повышенных температурах:  
а – общий вид установки, б – узел нагрева.

Теплостойкость наплавленного металла оценивали при нагреве образцов до температуры 900, 925, 950, 970, 1000 К, выдержка – 4 ч с последующим охлаждением и измерением твердости.

#### 4. Результаты исследований

Существенного повышения прочности и снижения энергоемкости производства восстанавливаемых деталей наплавкой позволяет достичь применение дисперсионнотвердеющих сплавов [1, 2]. Хорошей комбинацией свойств – твердости, прочности и пластичности – обладают никелевые мартенситностареющие сплавы, упрочняемые при старении за счет введения Al или Mo [1]. Введение Mo и значительное содержание активных карбидообразующих элементов (Ti, Cr) дает возможность снизить содержание несвязанного углерода до 0,05-0,3 %. Это весьма важно при использовании в качестве наплавочных материалов порошковых проволок из низкоуглеродистой ленты. В исследуемой системе легирования (Cr-Mn-Ti-Si) отсутствие Ni компенсировалось увеличением содержания Mn до 10...12 % и введением Al из ферротитана (компонент шихты порошковой проволоки). Влияние количества Ti при наплавке под керамическим флюсом и с обесточенной присадкой [β] на химический состав наплавленного металла приведены в табл. 1.

**Таблица 1** – Влияние [Ti] и [β] на химический состав наплавленного металла

Химический состав наплавленного металла при наплавке порошковыми проволоками					
Количество ввода обесточенной присадки, %	Содержание химических элементов в наплавленном металле				
	Ti	Cr	Mn	C	Si
0	1,33	2,64	4,6	0,4	1,08
25	1,62	3,28	5,72	0,48	1,11
50	2,19	4,36	7,60	0,53	1,10
75	2,38	4,72	8,22	0,57	1,12

Послойный анализ химического состава показывает, что применение дополнительной присадочной проволоки дает относительно равномерное распределение легирующих элементов по высоте наплавленного металла. Исследование влияния относительной массы присадки на микроструктуру наплавленного металла показало, что с ее увеличением

стабилизируется структурный и фазовый состав многослойной наплавки. Микроструктура металла в зависимости от относительной массы присадки в исследуемом сплаве приведена на рис. 2, а-е,  $\times 300$ . Кромка первого валика – рис. 2 а, б, в; кромка второго валика – г, д, е. Доля участия обесточенной присадки в металле шва – рис. 2 б, г – 25 %, б, д – 50 %, в, е – 75 %.

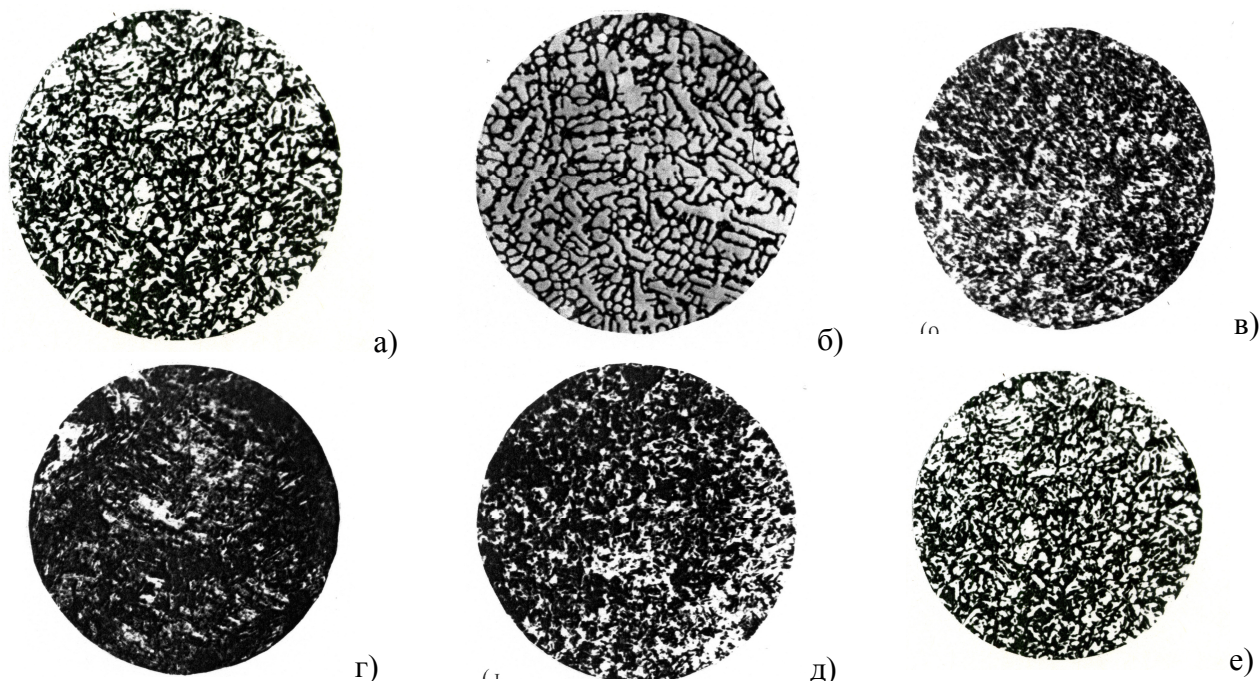


Рис. 2 – Структура наплавленного металла в зависимости от количества ввода обесточенной присадки, X350: а) феррит+перлит, нормализация; б) мартенсит + аустенит; в) бейнит среднеигльчатый; г) бейнит + мартенсит крупноигльчатый; д) бейнит среднеигльчатый с дендритной ориентацией; е) бейнит + мартенсит мелкоигльчатый

Влияние температуры отпуска и повышенных температур на твердость наплавленного металла сплавов систем Cr-Mn-Mo-Ti и Cr-Mn-Ti на основе железа показано на рис. 3, 4.

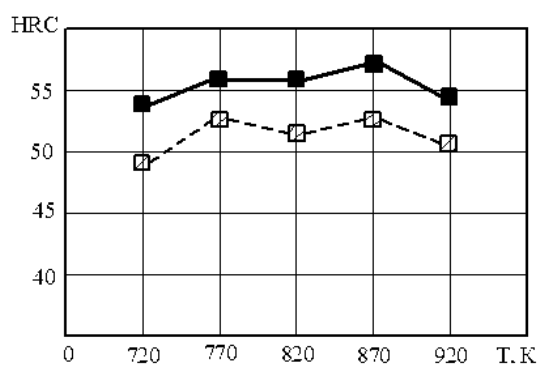


Рис. 3 – Влияние температуры отпуска на твердость исследуемых сталей (время выдержки  $\tau=2$  ч, охлаждение на воздухе):  $\square$  - 40X4Г8Т2С;  $\blacksquare$  - 20X3Г9М5Т2С

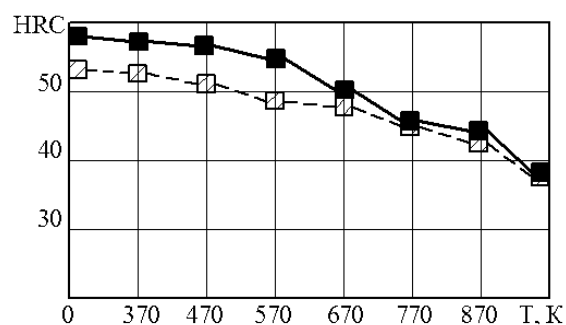


Рисунок 4 - Влияние температуры на твердость исследуемых сталей после отпуска ( $T_{\text{отп.}}=850$  К,  $\tau=2$  часа, охлаждение на воздухе):  $\square$  - 40X4Г8Т2С;  $\blacksquare$  - 20X3Г9М5Т2С

Твердость исследуемой стали 20X3Г9М5Т2С после наплавки составляла 37...40 HRC. После старения при  $T=850$  К,  $\tau=2$  ч твердость составила 49...55 HRC, что можно объяснить

**Технологія машинобудування**

---

увеличением количества вторичных карбидов. Увеличение выдержки при этой температуре, а также повышение температуры старения до 920 К не привело к заметному повышению твердости, а способствовало ее снижению.

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**

1. 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.

2. 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. Кальянов В. Н. Свариваемость наплавляемых мартенситных сталей с инструментальными сталями / В. Н. Кальянов, В. А. Багров // *Сварочное производство*. – 1998. – № 4. – С. 14-15.

**References**

1. Kondratyev, A 1994, 'Samozashchitnaya poroshkovaya provoloka dlya naplavki sloya martensitnostareyushchey stali', *Avtomaticheskaya svarka*, no. 1, pp. 49-51.
2. Kalyanov, V & Bagrov, V 1998, 'Svarivaemost naplavlyaemykh martensitnykh staley s instrumentalnymi stalyami', *Svarochnoye proizvodstvo*, no. 4, pp. 14-15.

Стаття надійшла до редакції 4 травня 2016 р.