

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА, СТРУКТУРЫ И СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ДИФфуЗИОННЫХ СЛОЕВ ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ НИТРОЦЕМЕНТАЦИИ СТАЛЕЙ В АКТИВИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНОУГОЛЬНЫХ СМЕСЯХ

Проведены исследования и обобщен опыт выбора оптимальных условий подготовки мелко-размерного инструмента, оснастки, конструкционных деталей из сталей ферритного, мартенситного и карбидного классов для высокотемпературной цементации в новых активированных древесноугольных составах. Установлены реальные технологические схемы обработки, позволяющие формировать износостойкие карбидные диффузионные слои при химико-термической обработке в составах на основе древесных углей с введением азотосодержащих компонентов карбамида и трилона-Б.

Ключевые слова: нитроцементация, стали карбидного класса, карбамид, диффузионные слои, ветвистые и глобулярные карбиды.

Введение

Высокотемпературные процессы химико-термической обработки цементации и нитроцементации деталей, инструмента из высоколегированных хромистых и сложнoleгированных вольфрамомolibденовых, ванадийсодержащих сталей, осуществляемых в жидких и твердых карбюризаторах, эффективны лишь при введении дополнительных натрийсодержащих и азотосодержащих компонентов, повышающих скорости диффузии углерода и азота в условиях существования на поверхности пассивирующих хромосодержащих пленок [1–2]. При этом исходная структура и шероховатость поверхности перед химико-термической обработкой в интервалах температур от 840 до 960 °С также могут влиять на степень науглероживания и характер формирования износостойких карбидных и карбонитридных диффузионных слоев [4–7].

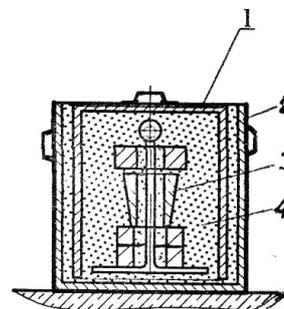
В ОКБ «Факел», совместно с Калининградским государственным техническим университетом, являющимся единственным разработчиком и изготовителем в России электрических двигателей малой тяги (ЭРД МТ), накоплен значительный опыт применения мелко-размерного инструмента, оснастки, конструкционных деталей микроэлектрoклапанов, упрочняемых цементацией, нитроцементацией в мало энергоемких печах, в активированных составах на базе древесных углей [7–10]. При этом в последнее время проведены опыты и исследования с целью оценки влияния условий предварительной термической и механической обработки деталей из высоколегированных сталей, приме-

няемых в производстве ЭРД МТ на структуру и свойства упрочненных диффузионных слоев, а также для определения оптимальных технологических схем изготовления прецизионных деталей и спец инструмента в условиях мелко-серийного производства приборостроительного предприятия. В статье приведены результаты исследования структуры и свойств сталей, применяемых в основном и вспомогательном производстве предприятия при изготовлении ЭРД МТ трех новых поколений, с повышенными ресурсами эксплуатации и надежности работы в космическом пространстве.

Методика исследований

Марки сталей, условия предварительной термической обработки приведены в таблице 1.

Цементацию образцов и деталей проводили в одних садках, в герметичных контейнерах из нержавеющей стали с упаковкой по схеме «контейнер в контейнер» (рисунок 1), что по-



1 – внутренний балластный контейнер, 2 – наружный, 3 – детали, 4 – древесноугольный активированный состав
Рисунок 1. Упаковка деталей при карбонитрировании по схеме «контейнер в контейнер»

Таблица 1. Марки сталей, структура и свойства в исходном состоянии

Сталь, класс, технические условия, термообработка	Твердость, НВ	Подготовка поверхности
20Х13, мартенситная, улучшаемая, ГОСТ 5949-70, пруток Ø32 мм, отожженная	224-235	Токарная, фрезерная обработка
16Х-ВИ, ферритная, магнитомягкая, пруток Ø20, горячекатаная, отожженная, ГОСТ 10160-75	153-166	Токарная, фрезерная
4Х5МФС, мартенситная, теплостойкая, квадрат 16х16мм, ОСТ 92-1137-86, отожженная	245-250	Токарная, шлифовальная, АСО
Р6М5, быстрорежущая, карбидная, ГОСТ 590-73, пруток Ø24 – 80 мм, отожженная	255-260	Токарная, фрезерная, шлифовальная

*) химсостав в пределах ТУ, образцы и детали из заготовок одной плавки

Таблица 2. Условия подготовки и цементации сталей

Сталь, изделие	Класс чистоты поверхности, R _a	Режимы х.т.о.		Потенциал	
		T, °C	t, ч	C, %	T, %
20Х13, упоры, втулки, пуансоны	Мехобработка, АСО, R _a = 0,9-1,5 мкм	940-960	2-6	2,3-2,5	0,08-0,10
16Х-ВИ, якоря, магнитопроводы	Токарная, фрезерная R _a = 0,6-0,8 мкм	780-960	4-5	2,1-2,3	0,06-0,08
4Х5МФС, бойки, матрицы, пуансоны	Мехобработка, АСО, R _a = 0,5-0,6 мкм	960-980	4-5	1,9-2,2	0,05-0,06
Р6М5, фильеры, диски остроугольные, валики раскаточные	Шлифование R _a = 0,5-0,6 мкм	940-960	3-6	2,0-2,4	0,07-0,08

*) – по данным анализа образцов из проволоки Ø0,15 мм из стали 08 кп

Таблица 3. Количество, размеры и тип карбидов в диффузионных слоях

Сталь, исходное состояние, режимы цементации	Подготовка поверхности	Характеристики диффузионного слоя					Тип карбидов
		h _{ок}	h _{с.к.}	h _{общ}	V _к , %	б _к , мкм	
20Х13, отожженная, 960 ⁰ С, 6 часов, охл. в масле	Фрезерование R _a =1,5 мкм	20	140	580	85	7-13	(Fe,Cr) ₃ C
	Абразивно-струйная, АСО	25	130	600	87	8-12	(Fe,Cr) ₇ C ₃ (Fe,Cr) ₂₃ C ₆
16Х-ВИ, горячекатаная, 960-980 ⁰ С, 5 часов, охл. с печью	Токарная R _a =0,7 мкм	10	-	720	46	3-4	(Fe,Cr) ₃ C
16Х-ВИ, с отжигом 1150 ⁰ С, 780-800 ⁰ С, 4 часа, охл. с печью	Фрезерование R _a =1,2 мкм	14	Сетка карбидов	530	34	5-48	(Fe,Cr) ₇ C ₃
4Х5МФС, отожженная, 980 ⁰ С, 4,5 часа, закалка в масле	Шлифование R _a =0,5 мкм	27	180	510	82	6-11	(Fe,Cr) ₇ C ₃
	Резьбовой рельеф 200 мкм	16	210 ветвистые	530	84	5-12	MoC, VC (Fe,Cr) ₃ C
Р6М5, отожженная, 960 ⁰ С, 4 часа, охл. в масле	Шлифование R _a =0,4 мкм	10	65	500	78	5-9	(Fe,Cr) ₇ C ₃
	Токарная R _a =100 мкм	15	80	600	75	4-10	MoC, VC, WC

Обозначения: h_{ок} – толщина зоны внутреннего окисления; h_{с.к.} – толщина зоны сросшихся и ветвистых карбидов; h_{общ} – суммарная толщина диффузионного слоя; V_к – объемная доля карбидов в зоне срастания; б_к – крайние значения толщины и длины при компьютерном сканировании

Таблица 4. Свойства диффузионных карбидных слоев деталей и инструмента

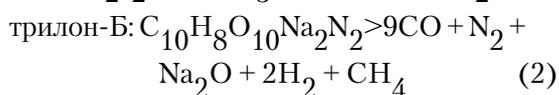
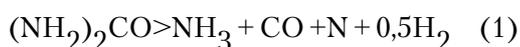
Детали, сталь, режимы цементации, закалки, отпуска	Свойства карбидного слоя			
	Толщина, мкм	Микротвердость, Нц,5Н	Износостойкость* ¹	Шлифуемость**
Пальцы, втулки трения, 20Х13, 940 ⁰ С, 6ч, охл. масло, отпуск 250 ⁰ С, 4ч	380-390	944-953	1,5-1,7	0,95
Якоря электромагнитных клапанов, 16Х-ВИ, в процессе отжига 960 ⁰ С, 5ч, охл. с печью	410-420	680-710	4,0-4,2	0,82
Бойки вибростендов, 4Х5МФС, 980 ⁰ С, 4ч, охл. масло, отпуск 320 ⁰ С, 3ч	330-360	809-830	1,6-1,7	0,87
Фильер электродов Р6М5, 960 ⁰ С, 6ч, охл. масло, отпуск 220 ⁰ С, 4ч	270-280	930-970	1,3-1,4	0,90

*) – в сравнении с термически обработанными по стандартным режимам

***) – относительная при шлифовании кругами из синтетических алмазов после обработки на максимальную твердость, без х.т.о.

звляло поддерживать стабильный, высокий углеродный потенциал в течение длительной выдержки при температурах от 780 °С до 980 °С и монотонно убывающий азотный потенциал в процессе прогрева деталей и образцов до температуры выдержки. Количество активизирующих добавок карбамида и трилона-Б к березовому углю составляло 10-12% из расчета 1-6 г на единицу площади обрабатываемых деталей, при этом диссоциация компонентов в древесно-угольной смеси в процессе прогрева и выдержки протекала в присутствии атомарного активного углерода древесного угля по реакциям:

карбамид:



Режимы цементации исследованных сталей в малоэнергоемких электропечах СНОЛ-1,6.2,5.1/10И2, СНОЛ-3.6.2/10И3, условия подготовки поверхностей деталей и инструмента, углеродоазотный потенциал по образцам-свидетелям, приведены в таблице 2.

На всех этапах работ проводили металлографию диффузионных слоев на микроскопах ММР-4, «Неофот» с компьютерными и цифровыми приставками, измеряли микротвердость на ПМТ-3, рентгеноструктурный фазовый анализ на установке «Дрон-3». Прочностные характеристики определяли по стандартным методикам, а износостойкость определением потери веса при сухом скоростном трении о микроновые шлифбумаги на станках «Нерис».

Результаты измерений и исследований

Результаты металлографического анализа, измерения толщины слоев, количества и размеров карбидов, а также рентгеноструктурного анализа типа карбидов приведены в таблице 3.

Характеристики диффузионных слоев определялись оптическим методом на микроскопе ММР-4 с погрешностью ±0,01 мкм.

На рисунках 2, 3, 4 показана микроструктура карбидных слоев на исследованных сталях трех классов с различной подготовкой поверхности и исходной термообработкой перед цементацией. Следует отметить, что на рисунке 4 б присутствуют первичные карбиды, образование которых происходит за счет предвари-

Микроструктура карбидных слоев на сталях трех классов

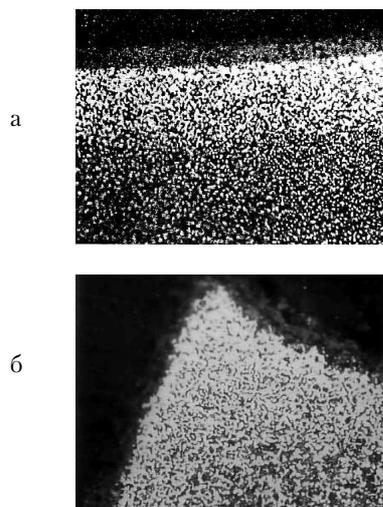


Рисунок 2. Сталь 20Х13, отожженная мехобработка, $R_a = 1,5$ мкм (а), и рельеф резьбовой (б), ХТО 960 °С, 6 ч. (x300 и x250)

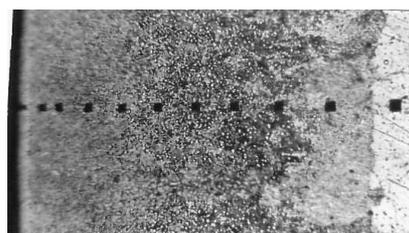


Рисунок 3. Сталь 16Х-ВИ, токарная обработка $R = 0,7$ мкм, горячекатаная, цементация 980 °С, 6 ч. (x200)

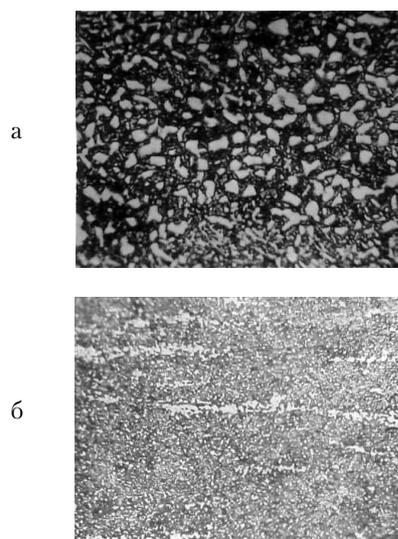


Рисунок 4. Сталь 4Х5МФС (а) и Р6М5 (б), шлифование 0,4 мкм, отожженные, в сечении стали Р6М5 строчки первичных карбидов в цементованном диффузионном слое, 960 °С, 6 ч. (x350 и x400)

тельной прокатки образца – стали 4Х5МФС. Установлено, что при цементации в составах на основе древесных углей с введением трилона-Б и карбамида, наблюдается ускоренное образование карбидных слоев с тонкой поверхностной зоной внутреннего окисления, повышенной пористостью и далее зоны крупноглобулярных, сросшихся карбидов, имеющих повышенную твердость и износостойкость. Тип карбидов на изученных образцах идентичен и определяется количеством хрома и легирующих элементов, при этом характер формирующейся зоны массивных карбидов практически не зависит от шероховатости перед цементацией. Для стали 16Х-ВИ с предварительным высокотемпературным отжигом на заданные магнитные свойства, происходит образование массивной карбидной сетки, что связано с энергетически предпочтительным стоком по границам зерен при прогреве атомарного азота, а при высокотемпературной выдержке атомарного углерода. Влияние натрия в составе активаторов на ускорение диффузии идентично установленному для высокохромистых сталей в работах [1–2, 4–7]. На стали Р6М5 отмечено формирование менее крупноглобулярных карбидов в сравнении со сталями 20Х13, 4Х5МФС, образующихся на фоне строчек первичных карбидов исходных заготовок, что вызывает повышение хрупкости, например рабочих кромок тонколезвийного инструмента. В таблице 4 и на рисунках 5–6 приведены данные измерений твердости, прочностных характеристик и износостойкости деталей и инструмента из выбранных сталей при термической обработке по различным режимам.

Результаты механических испытаний и определение контактной абразивной износостойкости высокотемпературной цементации в древесно-угольных составах при суммарной добавке карбамида и трилона-Б 10–12% показали, что карбидные слои, содержащие выше 45–50% карбидов и карбонитридов имеют высокую твердость и износостойкость. При этом наблюдается снижение ударной вязкости сталей 20Х13, 4Х5МФС, Р6М5, закаленных от температур цементации, а прочность при изгибе сохраняется на уровне 1850–3800 МПа, не хуже, чем после закалки на максимальную твердость без цементации. Снижение шлифуемости при заточке, доводке для снятия поверхностных слоев внутреннего окисления не пре-

вышает 5–15%. Это соизмеримо со шлифуемостью твердых сплавов, а рост трудоемкости компенсируется повышением износостойкости упрочненного инструмента, деталей, оснастки. Установлено, что для магнитомягкой стали 16Х-ВИ повышение износостойкости при контактном трении металл по металлу наибольшее, ресурс работы клапанных пар достигает 10⁷ циклов, при сохранении высоких магнитных характеристик коэрцитивной силы и магнитной индукции в полях средней напряженности.

Выводы

При проведении высокотемпературной цементации в древесно-угольных смесях с азото- и натрийсодержащими активаторами сталей 20Х13, 16Х-ВИ, 4Х5МФС, Р6М5 не наблюдается сколько-нибудь заметного влияния исходной подготовки поверхности путем механической и абразивно-струйной обработки на скорость и степень науглероживания.

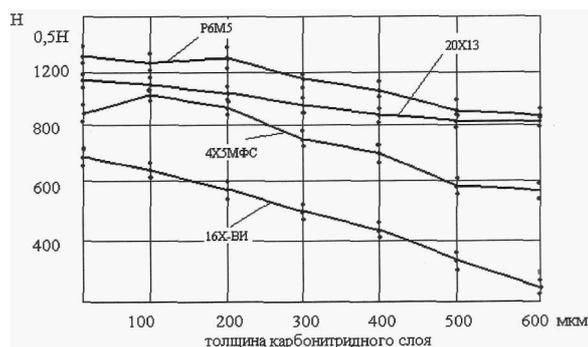


Рисунок 5. График изменения твердости на выбранных сталях

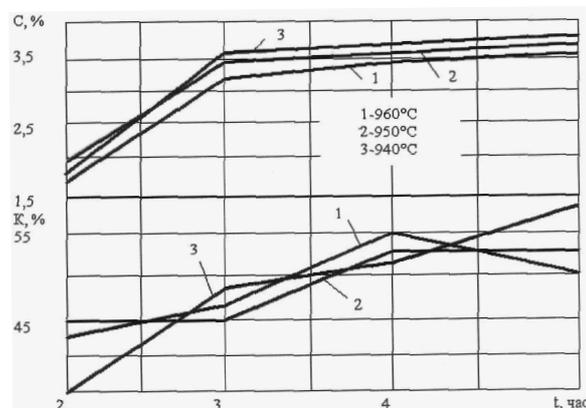


Рисунок 6. График изменения прочностных характеристик и износостойкости деталей и инструмента. 1 – сталь 16Х-ВИ; 2 – сталь Р6М5; 3 – сталь 20Х13 и 4Х5МФС

Путем создания перед цементацией направленных шаговых рельефов на рабочих поверхностях инструмента из сталей 20Х13, 4Х5МФС, Р6М5 за счет встречной диффузии углерода возможно формирование слоев с повышенным количеством карбидов, наиболее износостойких при контактном, абразивном трении

Исходное состояние и структура сталей 20Х13 и 4Х5МФС не отражаются на структуре и свойствах диффузионных слоев с высоким содержанием карбидов. Для стали 16Х-ВИ крупное зерно предварительного отжига и повы-

шенный балл карбидной неоднородности для стали Р6М5, могут влиять на уровень износостойкости и эксплуатационные свойства упрочняемых цементацией конструкционных деталей и инструмента.

Процессы цементации в древесно-угольных активированных смесях, не содержащих дефицитных компонентов, осуществимы и экономически эффективны в условиях мелкосерийных, опытных приборных производств и ремонтных цехов, и позволяют существенно повысить износостойкость деталей, инструмента, оснастки.

31.05.2010 г.

Список литературы:

1. Борисенко Г.В. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. / Г. В. Борисенко, В. А. Васильев, Л. Г. Ворошин и др. // М.: – Металлургия. – 1981. – С. 424.
2. Тарасов А.Н. Структура и свойства нитроцементованных сталей 4Х5МФС и 20Х13, используемых при изготовлении режущего инструмента. / А.Н. Тарасов, Т.П. Колина // МиТОМ. – 2003. – №5. – С. 32-36.
3. Бабул Т. Д. Влияние исходной структуры инструментальных сталей на толщину и твердость слоев, полученных в результате карбонитрирования. / Т.Д. Бабул, Т.Г. Кучариева, А. Наконечный. // МиТОМ. – 2004. – №7. – С. 17-20.
4. Жигунов К.В. Влияние состояния поверхностного слоя материалов на процессы химико-термической обработки. / К.В. Жигунов, П.И. Маленко, Е.Ю. Овчинникова // Машиностроитель. ?2004. – №2. – С.40-42.
5. Мовчан В.И. Структура низкоуглеродистых быстрорежущих сталей после цементации. / В.И. Молчавин, Л.А. Воронкина, Л.Г. Педан. // МиТОМ. – 1987. – №1. – С.36-38.
6. Тарасов А.Н. Особенности формирования структур и коррозионные свойства азотоцементированных высокохромистых сталей. / А.Н. Тарасов, Т.П. Колина, Е.Н. Евсина // Защита металлов. – 2004. том 40. – №1. – С. 100-105.
7. Пат. 2205892 РФ, БИ, 2003, №16 Способ упрочнения режущего и формообразующего инструмента из теплостойких хромистых сталей / А.Н.Тарасов, Е.Н. Евсина, Т.П. Колина (Россия)
8. Пат. 2237744 РФ, БИ, 2004, №28 Способ никотрирования стальных (деталей и инструмента) / А.Н.Тарасов, Г.П. Анастасида, Т. П. Колина (Россия).
9. Пат. 2253692 РФ, БИ 2005, №16 Способ химико-термической обработки деталей электромагнитных клапанов из магнитомягкой стали. / А.Н.Тарасов (Россия)
10. Переверзев В.М. Карбидизация высокохромистых сталей. / В.М. Переверзев – Воронеж: Изд-во ВГУ – 1977. – С. 92.

Сведения об авторах:

Колина Тамара Петровна, начальник центра управления качеством Калининградского государственного технического университета, аспирант кафедры материаловедение и термическая обработка, тел. 8(4012)995965, e-mail: amarakolina@mail.ru

Тарасов Анатолий Николаевич, старший научный сотрудник управления научной и инновационной деятельности Калининградского государственного технического университета, кандидат технических наук, доцент. Тел. 8(4012) 995965

Брюханов Валерий Вениаминович, проректор по научной работе Калининградского государственного технического университета, доктор физико-математических наук, профессор 236000, г. Калининград, Советский пр-кт, 1, ФГОУ ВПО «КГТУ», тел. 8(4012) 995912, e-mail: bryukhanov_v.v@mail.ru

Kolina T.P., Tarasov A.N., Bryukhanov V.V.

The influence of composition, structure and surface condition on the structure and the properties of diffusion layers during the high -temperature nitro cementation of steels in the activated charcoal mixtures

The authors carried out studies and generalized the experience of the selection of the optimum conditions for the preparation of small tool, rigging and structural components made of steels of ferrite, martensite and carbide classes for the high-temperature cementation in the new activated charcoal compositions. They established the real flow charts of working, which make it possible to form wear-resistant carbide diffusion layers with the thermochemical treatment in the compositions on basis of charcoal with the introduction of the nitrogen-bearing components of carbamide and trilon- B.

The key words: nitro cementation, steel of carbide class, carbomide, diffusion layers, branchy and globular carbides.