

*к.т.н. Крымов В.Н.  
(ГВУЗ ДонНТУ, г. Донецк, Украина, roldon@mail.ru)*

## КАРБОНИТРАЦИЯ ДЕТАЛЕЙ ПАРОСИЛОВЫХ УСТАНОВОК

*Вивчений вплив параметрів карбонітрації в порошкових сумішах на будову й властивості зміцненого шару на сталі 25Х2МФ. Встановлено, що карбонітрація може застосовуватися як альтернатива газовому азотуванню при виготовленні деталей енергетичного обладнання.*

*Ключові слова: карбонітрація, рентгенівський аналіз, мікротвердість, поверхневе зміцнення.*

*Изучено влияние параметров карбонитрации в порошковых смесях на строение и свойства упроченного слоя на стали 25Х2МФ. Установлено, что карбонитрация может применяться как альтернатива газовому азотированию при изготовлении деталей энергетического оборудования.*

*Ключевые слова: карбонитрация, рентгеновский анализ, микротвердость, поверхностное упрочнение.*

Целый ряд деталей паросиловых установок в работе испытывают не только коррозионные и тепловые нагрузки, но и изнашивающие воздействия. Это штоки, плунжеры, шпиндели, работающие в контакте с уплотнениями. Такие детали требуют дополнительного поверхностного упрочнения. Как правило, изделия, изготовленные из теплостойких сталей перлитного класса, подвергают низкотемпературному азотированию. Однако не все изготовители подобных деталей имеют необходимое оборудование. В первую очередь, это относится к собственным ремонтным производствам электростанций. Поэтому обработку приходится выполнять на других предприятиях, что создает понятные неудобства.

Одним из выходов из такой ситуации может быть использование карбонитрации в порошковых смесях. Это технологически не сложная обработка, которая может быть выполнена в обычных термических печах, имеющих на любом машиностроительном предприятии.

Под карбонитрацией чаще всего подразумеваются азотонауглероживание в жидкой или газообразной среде [1-3]. Обработке в твердой порошковой смеси уделялось гораздо меньше внимания [4].

Целью данной работы являлось изучение возможности замены газового азотирования деталей из теплостойких сталей перлитного класса

карбонитрацией в порошковых смесях. Для этого должны быть подобраны оптимальные параметры карбонитрации, а также изучено строение и твердость упрочненного слоя.

Обработке подвергали пластинчатые образцы из стали 25Х2МФ толщиной 4 мм. Образцы термообрабатывали по обычному режиму: нормализация с 950 и отпуск 690 °С, после чего поверхность тонко шлифовали. Образцы упаковывали в контейнер со смесью, состоящей из измельченного карбюризатора и активного компонента, в качестве которого использовали желтую кровяную соль (ЖКС) или карбамид. Основными параметрами являлись температура и длительность обработки, а также содержание активного компонента в смеси. После карбонитрации поверхность образцов полировали. На обработанных образцах изготавливали поперечные шлифы, на которых изучали структуру и микротвердость. Фазовый состав упрочненного слоя исследовали на приборе «Дрон-3» в железном излучении. Размеры образцов до и после карбонитрации измеряли электронным микрометром с точностью до 1 мкм. Полную глубину гетерофазной зоны определяли по результатам измерения микротвердости, поскольку металлографическим травлением она почти не выявляется.

Структура упрочненного слоя, показанная на рисунке 1, схожа со структурой, полученной после газового азотирования, и представлена двумя зонами: карбонитридной и гетерофазной (диффузионной).

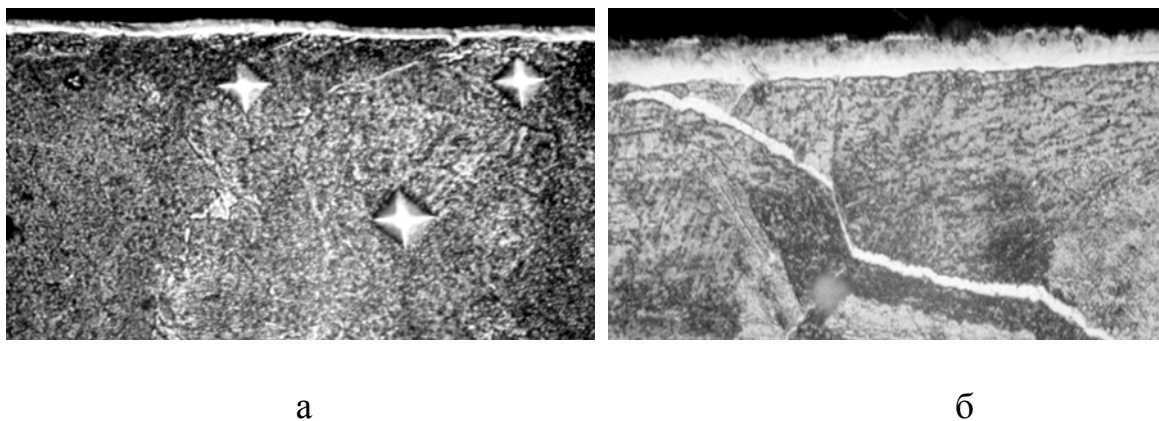


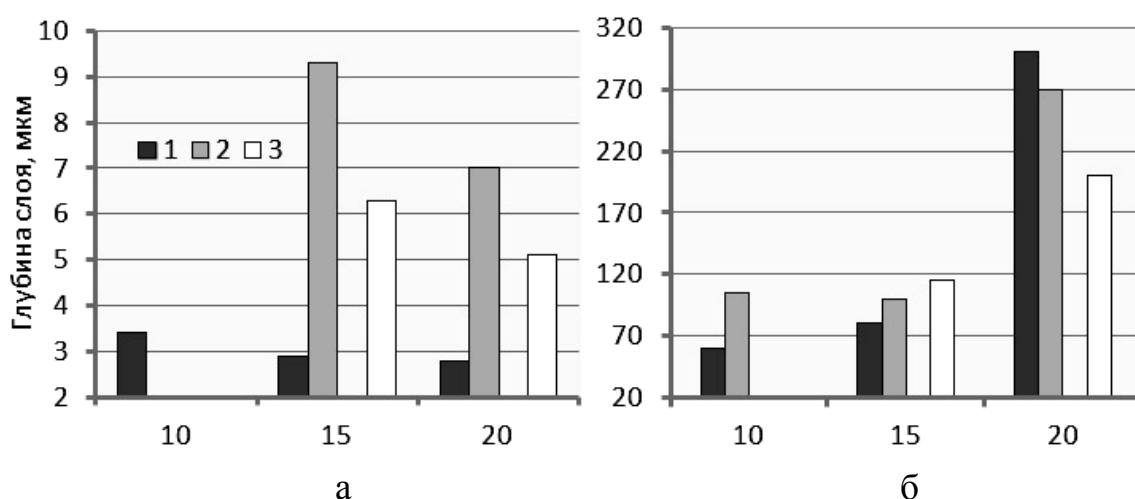
Рисунок 1 – Микроструктура стали после карбонитрации в смеси с ЖКС (а) и карбамидом (б), x500

Карбонитридный слой выявляется в виде тонкой не травящейся полоски на поверхности. Несмотря на образование сетки по границам бывшего аустенитного зерна слой карбонитридов имеет повышенную пластичность. Сколов и трещин, часто встречающихся в азотированном слое, замечено не было.

Зависимость толщины упрочненного слоя от параметров обработки, показанная на рисунке 2, довольно сложна и определяется, по-видимому, толщиной, а также скоростями образования и растворения внешнего карбонитридного слоя. Так с увеличением содержания ЖКС с 10 до 15% рост диффузионной зоны не происходит. Это объясняется тормозящим влиянием слоя карбонитридов [1]. Поскольку порошковая смесь в ходе обработки не пополняется активным компонентом, то с увеличением длительности выдержки происходит растворение карбонитридного слоя.

Твердости карбонитридной и гетерофазной зон заметно различаются. Твердость слоя карбонитридов колеблется в диапазоне 9500-11700 Н/мм<sup>2</sup>, в то время как максимальная твердость гетерофазного достигает 5500-7500 Н/мм<sup>2</sup>.

Скорость формирования карбонитрированного слоя в смеси с ЖКС при 550 °С в течении 20-часовой обработки составляет 6-10 мкм/ч.



1-510 °С, 8 часов;  
 2-550 °С, 8 часов;  
 3-550 °С, 20 часов;

Рисунок 2 – Зависимость толщины карбонитридного (а) и гетерофазного (б) слоя от содержания желтой кровяной соли в смеси

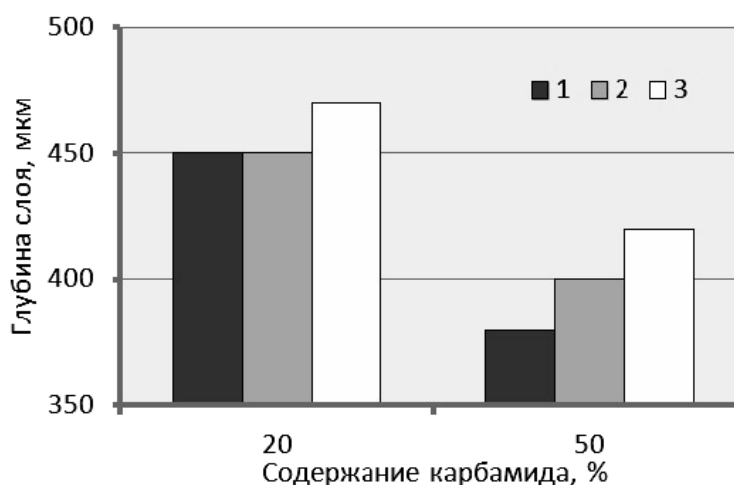
За практически приемлемое время не удастся получить слой, сравнимый по толщине со слоем, азотированным в заводских условиях. При этом результаты оказываются крайне нестабильными. Кроме того, ЖКС достаточно агрессивна к стали и увеличение ее содержания в смеси приводит к ухудшению качества поверхности за счет растворения стали. По этим причинам дальнейшие опыты выполняли в смесях с карбамидом.

При использовании карбамида средняя скорость формирования карбонитрированного слоя в течении 24-часовой обработки при 550 °С увеличилась до 18 мкм/ч. Повышение содержания карбамида в смеси до 50% вызывает рост слоя карбонитридов на 40-50%, что приводит к снижению толщины гетерофазного слоя (см. рисунок 3). При этом возрастает частота появления карбонитридной сетки в гетерофазном слое.

В целом, при использовании карбамида толщина упрочненного слоя получается более стабильной. Это же касается и твердости слоя. Для большинства режимов микротвердость верхней части гетерофазного слоя составляет 7000-8000 Н/мм<sup>2</sup>. Это на 700-1800 Н/мм<sup>2</sup> меньше твердости слоя после газового азотирования.

Полученные характеристики карбонитрированного слоя полностью удовлетворяют требованиям, предъявляемым к ряду деталей энергетического оборудования, например, поршням, штокам, шпинделям и т.п.

Фазовый состав карбонитрированной поверхности представлен цементитом, альфа-железом,  $\gamma'$  и  $\epsilon$ -фазами. В гетерофазном слое  $\epsilon$ -фаза отсутствует. Определение методами рентгеноструктурного анализа периодов решетки фаз (показаны в таблице 1) показало, что они отличаются от периодов чистых азотистых фаз.



Температура обработки, оС: 1-510;  
2-550;  
3-600

Рисунок 3 – Влияние содержания карбамида и температуры обработки на глубину карбонитрированного слоя; длительность обработки - 24 ч

Из таблицы 1 видно, что растворение в цементите азота приводит к увеличению параметров а и с и незначительному уменьшению b. Такие изменения согласуются с данными работы [1], в которой науглеро-

живали  $\epsilon$ -нитрид, что вызывало перестройку гексагональной решетки в ромбическую. Изменения периодов ромбической решетки были противоположными:  $a$  и  $c$  уменьшались, а  $b$  возрастал.

Таблица 1 – Периоды кристаллической решетки фаз в карбонитрированном слое, А

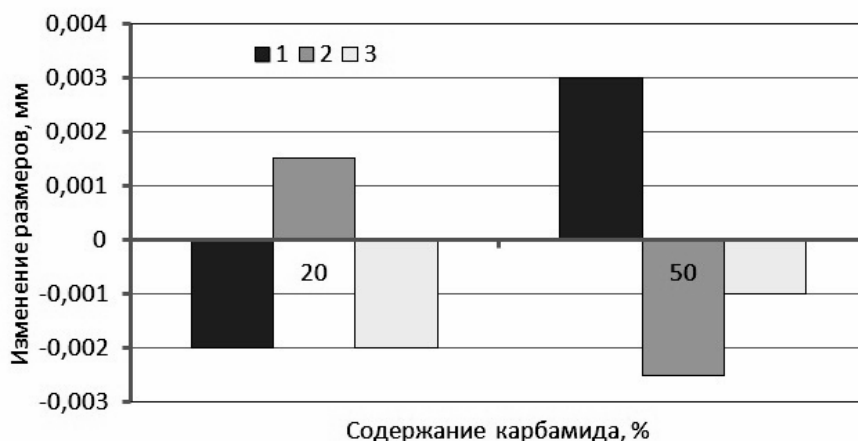
Фаза	Параметр решетки	Значения параметра	
		экспериментальные	литературные данные
Цементит	a	4.530	4,5235 [5]
	b	5.086	5,089
	c	6.856	6,735
Нитрид Fe <sub>3</sub> N	a	2,708	2,695 [1]
	c	4,391	4,362
Нитрид Fe <sub>4</sub> N	a	3,776	3,78*[2]

Примечание. \* - с содержанием азота 5,5%

Неожиданно изменение параметров гексагональной решетки  $\epsilon$ -нитрида. Вместо уменьшения размеров элементарной ячейки, которого следовало ожидать при одновременной диффузии азота и углерода [4], произошло увеличение обеих параметров. По-видимому, это связано с разделением во времени процессов образования нитрида и последующего насыщения его углеродом. Некоторое уменьшение периода решетки  $\gamma'$ -фазы вызвано, по-видимому, меньшим содержанием в нем азота.

Изменения размеров образцов после карбонитрации, показанные на рисунке 4, как и следовало ожидать, очень незначительны. Полировка, обычно являющаяся обязательной операцией после азотирования, вызывает некоторое уменьшение размера образца, что вызвано удалением неметаллической серой корки. Величина снимаемого при этом слоя сильно различается для разных режимов и варьируется от 2-3 до 10-15 мкм на сторону.

При использовании в смеси ЖКС наблюдали уменьшение размеров, достигавшее 50-70 мкм. Такое значительное изменение размера характерно для образцов, обрабатывавшихся при температуре 510 °С. Вероятно, это связано с растворением поверхности образца. При повышении температуры интенсивность растворения снижается и размеры образцов после карбонитрации даже возрастают. По-видимому, это объясняется термической диссоциацией ЖКС, которая сопровождается выделением азота или аммиака при наличии паров воды. По литературным данным этот процесс протекает при температурах 600-650 °С [1].



Температура обработки, °С: 1-510; 2-550; 3-600

Рисунок 4 – Изменение размеров (на сторону) образцов из стали 25X2МФ после карбонитрации в смесях с карбамидом и полировки

При обработке в смеси с карбамидом также наблюдали растворение поверхности образца при взаимодействии с расплавом карбамида. Это проявляется в уменьшении размеров карбонитрированных образцов. Однако карбамид менее агрессивен по отношению к стали, чем ЖКС и уменьшение размера образца составляет 2-5 мкм.

#### **Выводы.**

1. Карбонитрацией в порошковой смеси может быть получен упрочненный слой, по своим параметрам соответствующий требованиям конструкторской документации к деталям паросиловых установок.

2. Строение карбонитрированного слоя на стали 25X2МФ сходно со строением азотированного. Наибольшая микротвердость гетерофазного слоя при карбонитрации лишь на 10-20% ниже, чем слоя внутреннего азотирования.

3. С точки зрения скорости образования упрочненного слоя и конечного состояния поверхности предпочтительны порошковые смеси на основе карбамида.

4. Изменение размеров образцов из стали 25X2МФ после карбонитрации составляет 2-3 мкм при ведении процесса в смеси с карбамидом.

#### **Библиографический список**

1. Прокошкин Д.А. *Химико-термическая обработка металлов – карбонитрация* / Д.А. Прокошкин. – М.: Металлургия, 1984. – 165 с.

2. Чаттерджи-Фишер Р. *Азотирование и карбонитрирование: пер. с нем.* / Р. Чаттерджи-Фишер, Ф.В. Эйзелл; пер. с нем под ред. Сунова А.В. – М.: Металлургия, 1990. – 279 с.

3. Развитие процесса карбонитрации / С.Г. Цих, В.И. Гришин, А.В. Супов, В.Н. Лисицкий, Ю.А. Глебова. – *МиТОМ*. – 2010. - №9. – С. 7-12.

4. Теория и технология азотирования / Ю.М. Лахтин, Я.Д. Коган, Г.И. Шпис, З. Бемер. – М.: Металлургия, 1991. – 318 с.

5. Самсонов Г.В. Тугоплавкие соединения / Г.В. Самсонов, И.М. Винницкий. – М.: Металлургия, 1976. – 560 с.

*Рекомендована к печати к.т.н., доц. Ершовым В.М.*