

# Диффузионное насыщение углеродом высоколегированных мартенситных сталей

## Diffusion saturation of high-alloy martensitic steels with carbon

УДК 621

Получено: 02.05.2023

Одобрено: 19.05.2023

Опубликовано: 25.06.2023

### **Моисеенко Д.В.**

Старший преподаватель Департамента промышленной безопасности Политехнического института (Школы) ДВФУ  
e-mail: moiseenko.dv@dvfu.ru

### **Moiseenko D.V.**

Senior Lecturer, Department of Industrial Safety, Polytechnic Institute (School) FEFU  
e-mail: moiseenko.dv@dvfu.ru

### **Пименов В.А.**

Старший преподаватель Департамента промышленной безопасности Политехнического института (Школы) ДВФУ  
e-mail: pimenov.va@dvfu.ru

### **Pimenov V.A.**

Senior Lecturer, Department of Industrial Safety, Polytechnic Institute (School) FEFU  
e-mail: pimenov.va@dvfu.ru

### **Диденко А.Е.**

Бакалавр Департамента промышленной безопасности Политехнического института (Школы) ДВФУ  
e-mail: didenko.ae@dvfu.ru

### **Didenko A.E.**

Bachelor of the Department of Industrial Safety of the Polytechnic Institute (School) of the Far Eastern Federal University  
e-mail: didenko.ae@dvfu.ru

### **Аннотация**

В статье рассматривается цементация в твердом карбюризаторе. Основной целью работы является изучение влияния состава карбюризатора на процесс диффузионного насыщения. Науглероживанию подвергалась высоколегированная сталь мартенситного класса. Была измерена твердость четырех образцов, а также исследована микроструктура. После определения твердости выяснилось, что образец, находившийся в отработанном карбюризаторе, показал самую высокую прочность. Самая низкая твердость оказалась у образца №4, имеющего соотношение углерода и соды 60/40.

**Ключевые слова:** цементация, науглероживание, диффузия углерода, диффузионное насыщение.

## Abstract

The article deals with carburizing in a solid carburetor. The main purpose of the work is to study the influence of the composition of the carburetor on the process of diffusion saturation. High-alloy steel of the martensitic class was subjected to carburization. The hardness of four samples was measured, and the microstructure was also examined. After determining the hardness, it turned out that the sample that was in the used carburetor showed the highest strength. The lowest hardness was found in sample No. 4, which has a ratio of carbon and soda 60/40.

**Keywords:** cementation, carburization, carbon diffusion, diffusion saturation.

Процесс цементации широко применяют в промышленности благодаря его высокой эффективности, доступности и дешевизне. Для повышения эксплуатационных свойств применяют диффузионное насыщение углеродом стали, после цементации сталь приобретает вязкую сердцевину и твердый, износостойкий поверхностный слой [2].

Чаще всего цементации подвергают низкоуглеродистые стали (0,1–0,2 C%), но также диффузионному насыщению могут подвергаться низко- и высоколегированные стали [1].

Леглирующие элементы влияют на скорость процесса цементации, глубину цементуемого слоя и концентрацию углерода в поверхностной зоне.

Науглероживающая термическая обработка улучшает поверхностную твердость детали за счет введения атомов углерода с образованием высокоуглеродистого мартенсита на поверхности детали [4, 5].

Кроме того, науглероженный слой предотвращает появление микроскопических трещин и препятствует их расширению за счет образования остаточных сжимающих напряжений, что приводит к высокой усталостной долговечности [7].

Некарбидообразующие элементы, такие как Ni, Si, Co ускоряют диффузию углерода в аустените во время цементации при температуре 950 °С. Однако эти же элементы снижают растворимость углерода в аустените и тем самым уменьшают максимальное содержание углерода в поверхностном слое.

Как правило, карбидообразующие элементы понижают коэффициент диффузии углерода в аустените. Например, в стали с 1,2% Si и 1% леглирующего карбидообразующего элемента при температурах, соответствующих интервалу цементации, наблюдается замедление диффузии углерода, при легировании в такой последовательности: Mn, Mo, V, W, Cr [3].

В то время как поверхностная прочность увеличивается, коррозионная стойкость ухудшается по мере истощения растворенных элементов Cr и Mo в науглероженной области [6].

Процесс цементации в твердом карбюризаторе заключается в следующем: изделия помещают в металлический ящик, засыпая их твердым карбюризатором – смесью древесного угля (70–80% объема) с активизаторами, которыми являются  $\text{BaCO}_3$ ,  $\text{NaCO}_3$  и кальцинированная сода. Карбонат бария добавляют для ускорения процесса цементации [1]. Он дает дополнительное количество окиси углерода и соответственно активного углерода.

Укладка деталей производится таким образом, чтобы они были покрыты карбюризатором со всех сторон, не соприкасались друг с другом и стенками ящика. Далее ящики закрываются крышками, которые для большей герметичности обмазываются огнеупорной глиной или же крышка сваривается с ящиком. Затем его помещают в печь на температуру 900–950 °С, далее следует 1 час выдержки (после прогрева ящика) для получения 0,1мм толщины науглероженного слоя, для получения 1мм слоя необходима выдержка 10 часов.

Также применяется «ускоренный» режим цементации, который производится при температуре 980 °С. Выдержка уменьшается в два раза, и для получения 1 мм слоя

требуется 5 часов. Но при «ускоренном» режиме образуется цементитная сетка, которую придется неоднократно убирать нормализацией [1].

Далее в работе будет исследовано влияние различных вариаций карбюризаторов на процесс цементации, на свойства и структуру.

## **Материалы и оборудование**

В качестве цементируемого материала была выбрана высоколегированная сталь мартенситного класса марки 40X13 для того, чтобы изучить влияние процесса диффузии на ее структуру и свойства. Компонентами карбюризатора были выбраны древесный уголь, кальцинированная сода и уже использовавшаяся до этого смесь угля и соды (отработанный карбюризатор).

Процесс цементации производился в шахтной печи. Закалка образцов производилась в печи СНОЛ-1100. Макротвердость измерялась на твердомере Роквелла ТР-5006. Микротвердость определялась с помощью микротвердомера SHIMADZU HNV-G30.

## **Экспериментальная часть**

Были подготовлены 4 карбюризатора, а также по 4 стальных образца, стали 40X13. Так, первый карбюризатор (1) состоит из чистого угля. Второй карбюризатор (2) на 100% заполнен отработанным углем, который содержит в себе кальцинированную соду. Третий (3) состоит из 80% угля и 20% кальцинированной соды, а четвертый (4) карбюризатор из 60% угля и 40% кальцинированной соды.

После того как были подготовлены смеси и заложены образцы. Карбюризаторы были помещены в шахтную печь, для цементации, на температуру 950 С и выдерживали на этой температуре 8 часов, чтобы диссоциированный углерод диффундировал в сталь.

Далее исследовали структуру сразу после цементации на микроскопе и измерили макротвердость на твердомере Роквелла ТР-5006. Далее образцы подверглись закалке при температуре 1050 С, выдержке 10 мин. и охлаждению на воздухе, так как сечение образцов мало. Эти образцы залили эпоксидной смолой, как показано на рис. 1, затем была измерена микротвердость при помощи микроскопа SHIMADZU HNV-G30, а также были сделаны снимки микроструктуры.

## **Обсуждение результатов**

После цементации твердость, измеренная на твердомере Роквелла, получилась следующей: у образца, подвергнутого цементации в угольном карбюризаторе, твердость не получилось измерить, так как твердость слишком низкая; у образца, подвергнутого цементации в отработанном карбюризаторе, твердость получилась 22 HRC; у образца, после цементации в смешанном карбюризаторе в соотношении 80/20, твердость получилась 15 HRC, а у карбюризатора с соотношением 60/40, твердость получилась 13 HRC.

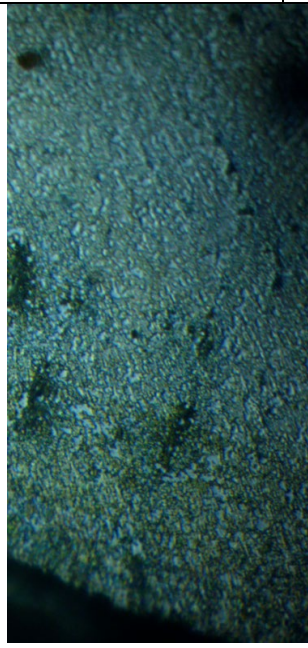
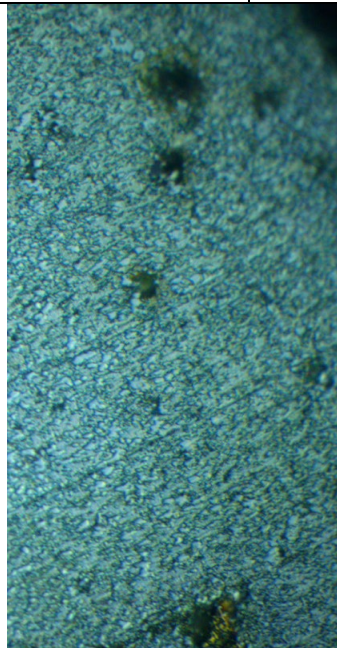
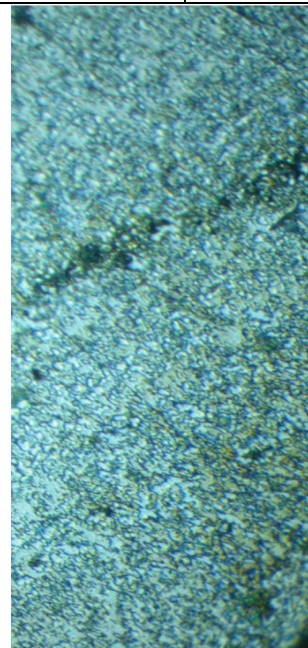
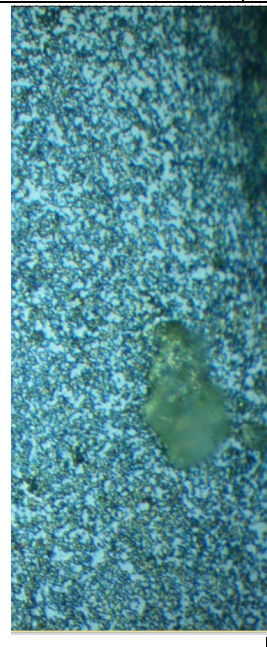
Как видно из полученных данных, эта твердость слишком мала для эксплуатации. Поэтому сталь подвергли закалке. Микротвердость после закалки сведена в табл. 1.



**Рис. 1.** Образцы, залитые в эпоксидную смолу

*Таблица 1*

**Микротвердость закаленных образцов**

Угольный карбюризатор	Отработанный карбюризатор	Карбюризатор 80/20	Карбюризатор 60/40
673 HV	925 HV	809 HV	506 HV
			
Рис. 2. Уг. карб. Край 500х	Рис. 3. Отр. карб. Край 500х	Рис. 4. Карб. 80/20 Край 500х	Рис. 5. Карб. 60/40 Край 500х

Структура после цементации приведена на рис. 2, 3, 4, 5.

## Закключение

Подводя итоги, можно сделать вывод, что состав карбюризатора сильно влияет на свойства стали. Так, у угольного карбюризатора из-за того, что чистый уголь не является хорошим источником атомарного углерода, сталь слабо насытилась углеродом, но из-за хрома, который является карбидообразующим, поверхностный слой значительно науглеродился, по сравнению с остальной структурой. После закалки данный карбюризатор дал хорошие показатели микротвердости, однако макротвердость оказалась намного меньше. У отработанного карбюризатора твердость оказалась самой большой из-за того, что все карбиды растворились в аустените, который превратился в мартенсит. Такие показатели свидетельствуют о том, что отработанный карбюризатор можно использовать вместо свежего. У карбюризатора, содержащего 80% угля и 20% кальцинированной соды, твердость тоже достаточно высока. Это связано с тем, что не все карбиды растворились в аустените при температуре аустенизации, поэтому после закалки присутствуют карбиды, а там может присутствовать остаточный аустенит. У карбюризатора с содержанием 60% угля и 40% кальцинированной соды. Сталь сильно насытилась углеродом, который ушел на образование карбидов, поэтому после закалки там образовалось много остаточного аустенита и карбидов и вследствие этого твердость после закалки невысокая.

## Литература

1. Лахтин Ю. М., Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов. Учебное пособие для вузов. М.: Металлургия, 1985. 256с.
2. Кнорозов Б. В., Усова Л. Ф., Третьяков А. В., Китаев Я. А., Филькин В. М., Шевченко А. А., Усов Г. А. Технология металлов и материаловедение. Учебное пособие. М: Металлургия, 1987. 800с.
3. Минкевич А.Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Учебник. М.: Машиностроение, 1965. 493с
4. Shengwei Qin, Lianxiang Wang, Liyin Di, Chenghao Zhang, Minghao Zhao. Effect of carburizing process on bending fatigue performance of notched parts of 18CrNiMo7-6 alloy steel// Engineering Failure Analysis. 2 March 2023 Volume 147 Article 107161
5. R. A. Savrai, P. A. Skorynina. Structural-phase transformations and changes in the properties of AISI 321 stainless steel induced by liquid carburizing at low temperature// Surface and Coatings Technology. 11 June 2022 Volume 443 (Cover date: 15 August 2022) Article 128613
6. Fangfang Wang, Fei Wang, Xuefeng Ding, Ming Gao, Hu Zhang. Microstructure evolution and electrochemical properties of carburized CSS-42L steel by high dose carbon ion implantation// Thin Solid Films 5 March 2023 Volume 771 (Cover date: 30 April 2023) Article 139782
7. Qianwei Guo, Hanghang Liu, Chen Sun, Hongwei Liu, Yanfei Cao, Leitao Wang, Xin Cai, Paixian Fu, Pei Wang, Dianzhong Li. Effectively improving the hardness-strength-toughness of carburized bearing steel via nanoprecipitates and fine grain structure// Materials Science and Engineering: A 30 March 2023 Volume 872 (Cover date: 8 May 2023) Article 144961