УДК 621.785.53

DOI:10.35211/1990-5297-2021-10-257-64-68

*В. А. Тельдеков¹, Л. М. Гуревич²***ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ НИТРОЦЕМЕНТАЦИИ
ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**¹ ОАО «ВНИИТМАШ», Волгоград² Волгоградский государственный технический университет

e-mail: mv@vstu.ru

Проведено исследование изменения микроструктуры, толщины ε -фазы и твердости диффузионных покрытий, получаемых при варьировании температуры в процессе низкотемпературной нитроцементации. Установлена возможность за счет применения технологии низкотемпературной нитроцементации снизить трудоемкость технологических операций, сократить длительность обработки и уменьшить энергозатраты.

Ключевые слова: сталь, диффузия, низкотемпературная нитроцементация, температура, твердость, микроструктура, микротвердость, толщина, коррозионная стойкость.

*V. A. Teldekov¹, L. M. Gurevich²***RESEARCH OF LOW TEMPERATURE NITROCARBURIZING
TECHNOLOGY FOR COMPLEX HARDENING OF MACHINE PARTS**¹ ОАО «ВНИИТМАШ», Volgograd² Volgograd State Technical University

The study of changes in the microstructure, thickness of the ε -phase and the hardness of diffusion coatings obtained by varying the temperature in the process of low-temperature nitrocarburizing was carried out. Studies have shown the possibility, through the use of low-temperature nitrocarburizing technology, to reduce the labor intensity of technological operations, shorten the processing time and reduce energy consumption.

Keywords: steel, diffusion, low-temperature nitrocarburizing, temperature, hardness, microstructure, microhardness, thickness, corrosion resistance.

Известно широкое применение высокотемпературной химико-термической обработки (цементации, нитроцементации) для упрочнения деталей машин, работающих в условиях интенсивного трения или высоких контактных нагрузок. Вместе с тем, в производстве различных машин используются детали, испытывающие при эксплуатации действие сил трения в агрессивных средах. Так, на Ульяновском автомобильном заводе (УАЗ) более 10 наименований деталей из разных марок сталей (сталь А12, сталь 20, сталь 35, сталь 18ХГТ, сталь 25ХГМ) подвергаются упрочнению нитроцементацией при температуре 850–870 °С с последующей закалкой и низким отпускком для обеспечения необходимой износостойкости. Дополнительно на них выполняется антикоррозионная обработка фосфатированием, цинкованием или хроматированием.

В тоже время специалисты по машиностроению большое внимание уделяют низкотемпературным (560–650 °С) процессам насыщения стали углеродом и азотом с последующим охлаждением в потоке аммиака на воздухе, в масле

или в воде. В литературе эти процессы называют низкотемпературной нитроцементацией, газовым карбонитрованием или нитротрированием. В качестве газовой среды в этом случае применяется смесь 50:50 аммиака с эндогазом, природным газом либо с другим углеродсодержащим компонентом [1–11]. Характерной особенностью микроструктуры, полученной по этому процессу, является формирование на поверхности слоя карбонитридов $\text{Fe}_{2,3}(\text{C}, \text{N})$ толщиной 10–20 микрон с высокой твердостью (не менее 7,0 ГПа) при относительно небольшой длительности обработки (4–6 ч). Общая толщина упрочненного слоя (до твердости сердцевин) при этом процессе достигает 0,4–0,5 мм.

Целью настоящей работы являлись исследование и выбор оптимального режима низкотемпературной нитроцементации для использования в условиях сухого трения и коррозионно-активных атмосфер.

Учитывая различный уровень содержания углерода и легирующих элементов в вышеуказанных сталях деталей автомобиля УАЗ, выбраны два режима их упрочнения:

– нитроцементация при постоянной температуре 560–580 °С с охлаждением в масле. Образцы и детали из малоуглеродистых нелегированных сталей подвергались отпуску при 130–150 °С для обеспечения дисперсионного твердения феррита;

– комбинированный режим нитроцементации при 560–620 °С с охлаждением в масле.

Все режимы химико-термической обработки проводились в шахтной печи США-3,2.4.8/6 с атмосферой из 50 % CH_4 и 50 % NH_3 при длительности 5 ч. Качество упрочнения оценивали на поперечных шлифах по результатам металлографического (микроскопы ММР-4, Olympus VX-63) и дюрOMETрического (твердомеры ТКС, ПМТ-3) анализов.

Низкотемпературной нитроцементации по

режиму 1 подвергались образцы и детали из сталей с различным содержанием углерода и легирующих элементов: сталь А12, сталь 20, сталь 35, сталь 40Х, сталь 18ХГТ, сталь 25ХГМ. Характерной особенностью структуры всех сталей после такого режима являлось образование плотной поверхностной пленки, так называемой ϵ -фазы: карбонитрид $\text{Fe}_{2-3}(\text{C},\text{N})$. Далее вглубь слоя располагается собственно диффузионный слой, состоящий из азотистого феррита и отдельных нитридов железа и легирующих элементов (рис. 1), причем в легированных сталях такие нитриды образуются в процессе формирования нитроцементованного слоя, а для углеродистых сталей после резкого охлаждения в масле целесообразен низкий отпуск для выделения нитридов из перенасыщенного феррита.

а

б

Рис. 1. Микроструктура поверхностного слоя после низкотемпературной цементации по режиму 1:
а – палец (чертеж 469-2902478, сталь А12); б – рычаг (чертеж 451-1703029, сталь 35Л)

Результаты количественной оценки нитроцементованного слоя образцов и участков деталей представлены в табл. 1. Видно, что толщина ϵ -фазы не имеет существенных отличий для всех сталей, а твердость ее изменяется от 6,0 (сталь 20) до 8,6 ГПа (сталь 25ХГМ), видимо из-за влияния хрома и молибдена, входящих в состав карбонитридов.

Твердость диффузионного слоя наиболее высока для легированных сталей, а его толщина

имеет близкие значения и практически не зависит от марки стали. Все измерения твердости по глубине слоя выполнялись по зернам феррита (за исключением заранее цементованных образцов) с целью определения прочности наиболее «слабой» структурной составляющей этих сталей. Упрочнение феррита низкоуглеродистых нелегированных сталей невелико, хотя и достигает 4,0 ГПа для стали 20 с плавным снижением по мере удаления от поверхности.

Таблица 1

Твердость по толщине нитроцементованного слоя деталей автомобиля УАЗ (режим I)

Наименование, чертеж детали	Сталь	ε-фаза		Упрочненный слой	
		толщина мкм	твердость, ГПа	глубина, мм	твердость феррита, ГПа
Собачка (чертеж 469-3508030)	Сталь 20	16-20	6,0	0,05	3,3
				0,10	3,2
				0,20	3,1
				0,40	3,0
				0,60	2,7
Рычаг (чертеж 451-1703028)	Сталь 35	12-16	7,8	0,05	4,0
				0,10	3,6
				0,20	3,2
				0,30	3,0
				0,40	2,8
Ось сателлита (чертеж 451-2403060)	Сталь 18ХГТ	12-16	8,3	0,05	6,0
				0,10	5,3
				0,20	3,9
				0,30	3,5
				0,50	2,7
Венец зубчатый (чертеж 469-1701028)	Сталь 25ХГМ	12-16	8,5	0,05	7,0
				0,10	6,7
				0,20	4,5
				0,30	3,0
				0,50	2,0

Наиболее четко степень упрочнения феррита проявилась на образце, вырезанном из зубчатого венца (чертеж 469-1701028, сталь 25ХГМ), где проводились сравнительные измерения твердости по зернам феррита и перлита на одной глубине от поверхности (табл. 2). Лишь на глубине более 0,2 мм от поверхности микротвердость феррита становится ниже, чем зерен перлита.

Таблица 2

Степень упрочнения феррита в фрагменте венца зубчатого (чертеж 469-1701028) из стали 25ХГМ (режим I)

Глубина, мм	Микротвердость, ГПа	
	феррит	перлит
0,05	7,0	5,8
0,15	6,0	4,8
0,20	4,5	4,6

Режим 2 нитроцементации выполнялся с повышением температуры от 570 до 620 °С при сохранении общей длительности процесса 5,0 ч. Анализ структуры образцов и деталей показал присутствие некоторых особенностей

строения упрочненного слоя независимо от состава обрабатываемой стали.

Так на стали А12 (шестерня привода спидометра, чертеж 468-3802033) и других формируется как бы трехзонный поверхностный слой (рис. 2), общая толщина которого заметно больше, чем при обработке по режиму I, и составляет для шестерни привода спидометра (сталь А12) более 45 мкм. Наружная пористая зона слоя образовалась, очевидно, из-за повышения температуры: средняя зона (собственно ε-фаза) толщиной около 20 мкм и наибольшей твердостью. Внутренняя зона является прослойкой (мартенсит + аустенит) или твердым раствором на основе нитрида Fe₃N (Fe₄N) с пониженной твердостью (4,7 ГПа).

Результаты измерения твердости деталей-представителей показаны в табл. 3. Видно, что не смотря на увеличение толщины поверхностной зоны нитридов, упрочнения нижележащего диффузионного слоя не выше, чем по режиму I. Присутствие наружной пористой зоны слоя с пониженной твердостью может изменить условия прирабатываемости трущихся контактирующих деталей.

Таблица 3

Твердость по толщине нитроцементованного слоя деталей представителей УАЗ (режим 2)

Наименование, чертеж детали	Сталь	ε-фаза		Упрочненный слой	
		толщина мкм	твердость, ГПа	глубина, мм	твердость феррита, ГПа
Фрагмент шестерни привода спидометра (чертеж 468-3802033)	Сталь А12	22	6,5	0,05	3,8
				0,10	3,6
				0,15	3,4
				0,20	3,3
				0,30	3,1
				0,40	3,0

Рис. 2. Микроструктура поверхностного слоя после низкотемпературной цементации по режиму 2 рычага (чертеж 451-1703029, сталь 35Л)

После выполнения режимов 1 и 2 низкотемпературной нитроцементации проводили исследование качества упрочнения деталей обеих партий. Внешним осмотром не обнаружено каких-либо дефектов поверхности: сколов, отслаивания и шелушения слоя. Поверхностную твердость образцов и деталей измеряли на приборе ТКС под нагрузкой 150 Н без специальной подготовки поверхности, что исключало возможность обеспечения условий контроля твердости. Полученные значения твердости (83-87 HR15 или 51-55 HRC) свидетельствуют об удовлетворительном качестве упрочнения деталей, причем твердость слоя после упрочнения по режиму 1 несколько выше (85-87 HR15 или 53-55 HRC), чем для режима 2, что связано, по-видимому, с образованием мартенситной зоны под ε-фазой.

Оценку сплошности поверхностной коррозионностойкой ε-фазы проводили выборочно на деталях, обработанных по режимам 1 и 2, с помощью «капельного» метода. Нанесение капель водного раствора медно-аммониевого хлорида не приводило к появлению покрасневших участков, то есть реакция с атомами железа не происходила. Это свидетельствует о сплошности карбонитридной зоны слоя.

Таким образом, полученные результаты оценки качества упрочнения деталей опытных партий дают основание предсказать возможность обеспечения высокой износо- и коррозионной стойкости в условиях эксплуатации. Такая технология может быть альтернативным вариантом упрочнения многих деталей автомобиля УАЗ вместо высокотемпературной нитроцементации.

Специалистами Управления главного конструктора завода (УГК) УАЗ были проведены стендовые и дорожные испытания ряда деталей после упрочнения на оборудовании ОАО «ВНИИТМАШ» по новой технологии низкотемпературной нитроцементации: ступица (черт. 469-1701119), рычаг (черт. 451-1703029), шайба (черт. 452-2304023), палец (черт. 469-2902478), собачка (черт. 469-3508030), сектор (черт. 69-3508048), палец (черт. 451-3414032) и другие.

По результатам этих испытаний установлены положительные результаты эксплуатации следующих деталей, упрочненных по режиму I: палец (черт. 469-2902478, сталь 20), рычаг (черт. 451-1703029, сталь 35), сектор (черт. 69-3508048, сталь 20) и ступица (черт. 469-1701119, сталь 25ХГМ). На основании результатов испытаний получено официальное разрешение УГК УАЗа на применение технологии низкотемпературной нитроцементации для упрочнения деталей указанных наименований после специальной подготовки оборудования.

Выводы

1. Установлено формирование при низкотемпературной нитроцементации деталей из сталей различного состава упрочненного слоя своеобразной микроструктуры. Образующаяся при этом поверхностная зона карбонитрида $Fe_{2-3}(C,N)$ имеет высокую плотность, твердость и коррозионную стойкость. Эта технология пригодна для использования взамен действующей на УАЗе высокотемпературной химико-термической и гальванической обработок.

2. Применение новой технологии низкотемпературной нитроцементации позволяет снизить трудоемкость технологических операций,

сократить длительность обработки и уменьшить энергозатраты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лахтин, Ю.М.* Низкотемпературные процессы насыщения стали азотом и углеродом / Ю. М. Лахтин // *Материаловедение и термическая обработка металлов.* – 1970, № 4. – С. 61–69.
2. *Лахтин, Ю. М.* Износостойкость конструкционных сталей после низкотемпературных процессов цианирования и нитроцементации / Ю. М. Лахтин, Г. Н. Неустроев, Н. А. Айрапетян // *Материаловедение и термическая обработка металлов.* – 1975. – № 11. – С. 71–73.
3. *Дружинина, Е. Н.* Низкотемпературное цианирование гильз блока цилиндров / Е. Н. Дружинина и др. // *Митом*, 1967. – С. 60–62.
4. *Лахтин, Ю. М.* Химико-термическая обработка металлов : учеб. пособие для вузов / Ю. М. Лахтин, Б. Н. Арзамасов. – М.6 Металлургия, 1985. – 256 с.
5. Азотирование и карбонитрирование / пер. с нем. ; Чаттерджи-Фишер Р., Эйзел Ф. В. [и др.]. – М.: Металлургия, 1990. – 280 с.
6. *Прокошкин, Д. А.* Химико-термическая обработка металлов – карбонитрация / Д. А. Прокошкин. – М.: Металлургия; Машиностроение, 1984. – 240 с.
7. *Кальнер, В. Д.* Новые способы химико-термической обработки конструкционных сталей в автомобилестроении / В. Д. Кальнер, В. А. Ковригин, Б. С. Старокожев // *Митом*. 1976. № 7. – С. 67–69.
8. Структура и свойства окисленных карбонитридных покрытий / В. Д. Кальнер, С. А. Юрасов, В. К. Седунов [и др.] // *Митом*. 1990. № 3. С. 54–58.
9. *Хорошайлов, В. Г.* Кинетика насыщения стали углеродом и азотом при низкотемпературной нитроцементации / В. Г. Хорошайлов, Е. Л. Гюлиханов, Э. Н. Флориан // *Известия вузов. Черная металлургия.* 1978, № 3. – С. 140–143.
10. Термическая обработка в машиностроении: Справочник / под ред. Ю. М. Лахтина, А. Г. Рахштадта. – М.: Машиностроение, 1980. – 783 с.
11. *Исхаков, С. С.* Износостойкость и усталостная прочность сталей после низкотемпературной нитроцементации / С. С. Исхаков, В. Г. Лаптев, Л. М. Семенова [и др.] // *Митом*. 1981. № 1. – С. 2–5.