

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ  
НИТРОЦЕМЕНТАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛИ  
4ХМФС

**Ж.М. Бегатов**

PhD доцент Совместный Белорусско-Узбекский межотраслевой институт  
прикладных технических квалификаций в городе Ташкенте  
Ташкент, Узбекистан

**О.Б. Хожиев**

Докторант Совместный Белорусско-Узбекский межотраслевой институт  
прикладных технических квалификаций в городе Ташкенте  
Ташкент, Узбекистан

**Аннотация.** В статье было рассмотрено влияние низкотемпературной нитроцементации на структуру и свойства стали марки 4ХМФС. Было выявлено, что для стали 4ХМФС микро-твердость поверхностной зоны достигает значений 8000 МПа в течение одного часа, а для получения значений микро-твердости 10000 МПа минимальное время насыщения должно быть три часа, а также анализ представленных данных показал, что температуры насыщения 550<sup>0</sup>С и 600<sup>0</sup>С практически дают одно значение микро-твердости.

**Annotation.** In the article, the influence of low-temperature nitrocarburizing on the structure and properties of steel grade 4ХМФС was considered. It was found that for steel 4ХМФС, the micro-hardness of the surface zone reaches 8000 MPa within one hour, and to obtain micro-hardness values of 10000 MPa, the minimum saturation time should be three hours, and the analysis of the data presented showed that the saturation temperatures are 550<sup>0</sup>С and 600<sup>0</sup>С practically give one value of micro-hardness.

**Annotatsiya.** Maqolada past haroratli nitrosegmentatsiyaning 4ХМФС po'lat navining tuzilishi va xususiyatlariga ta'siri ko'rib chiqildi. Aniqlanishicha, 4ХМФС po'lat uchun sirt zonasining mikro-qattiqligi bir soat ichida 8000 MPa ga yetadi va 10000 MPa mikro-qattiqlik qiymatlarini olish uchun minimal to'yinganlik vaqti uch soat bo'lishi kerak. Taqdim etilgan ma'lumotlar tahlili shuni ko'rsatdiki, to'yinganlik harorati 550<sup>0</sup>С va 600<sup>0</sup>С amalda mikro-qattiqlikning bir qiymatini beradi.

Сущность комбинированной химико-термической обработки в нашем случае состоит в возможности совмещения процессов насыщения стали атомами углерода, азота и процесса отпуска стали в единый технологический

цикл. Было установлено, что наиболее оптимальной температурой нагрева под закалку рассматриваемой стали, с точки зрения износостойкости, теплостойкости структуры, является температура закалки в интервале 1150-1200<sup>0</sup>С. При этих температурах, возникает повышенная легированность твердого раствора, возрастает дефектность кристаллического строения. При проведении отпуска для этой стали в районе температур 550-600<sup>0</sup>С начинается процесс вторичного твердения сталей за счет выделения теплоустойчивых мелкодисперсных карбидов.

Известно, что процесс насыщения атомами углерода и азота [1,2,3] при низкотемпературном цианировании начинается при температуре 560<sup>0</sup>С, причем для интенсивного насыщения стали углеродом в короткое время температура процесса должна быть как можно выше. Однако с увеличением температуры выше 650<sup>0</sup>С начинаются процессы распада структуры стали, что ведет к разупрочнению стали и снижению твердости. Поэтому в нашем случае для совмещения процессов отпуска и цианирования были выбраны интервалы температур 550-620<sup>0</sup>С. Необходимо было установить оптимальное время насыщения стали атомами азота и углерода для получения насыщенного слоя глубиной от 0,2 до 0,4 мм. Для процесса насыщения нами были выбраны состав из смеси карбамида (мочевина) и сажи; известно, что мочевина разлагается согласно реакции



Выделяющиеся при этом разложении углерод и азот диффундируют в сталь. Использование сажи в карбюраторах для цементации [4,5,6,7] дает возможность интенсифицировать процесс науглероживания стали. В качестве насыщающей среды были выбраны 2 состава:

1. 60% сажи + 40% карбамида.
2. 80% сажи + 20% карбамида.

Такое соотношение было выбрано исходя из рекомендаций [4,8] по твердому цианированию в смеси древесного угля и желтой кровяной соли. В нашем случае древесный уголь был заменён газовой сажой, а желтая кровяная соль – карбамидом (мочевинной) как наиболее технологической средой. Кроме этого, карбамид производится в Республике Узбекистан в производственном объединении «Навоиазот» и не является дефицитным сырьем.

С целью выявления оптимального состава были проведены исследования по насыщению образца стали 4ХМФС двумя составами, при температуре 550-600<sup>0</sup>С. Были подготовлены стальные контейнеры, куда

помещали образцы сталей с соответствующей засыпкой смеси сажи и карбамида. Крышку контейнера замазывали огнеупорной глиной, и контейнер помещали в разогретую до заданной температуры электропечь. Исследовали глубину карбонитридной зоны в сталях при температурах заковки  $1150^{\circ}\text{C}$ , температуре насыщения  $550-600^{\circ}$  и времени выдержки от 1 до 4 часов (рис. 3.19-3.20). Время выдержки выбиралось согласно общепринятым рекомендациям [9].

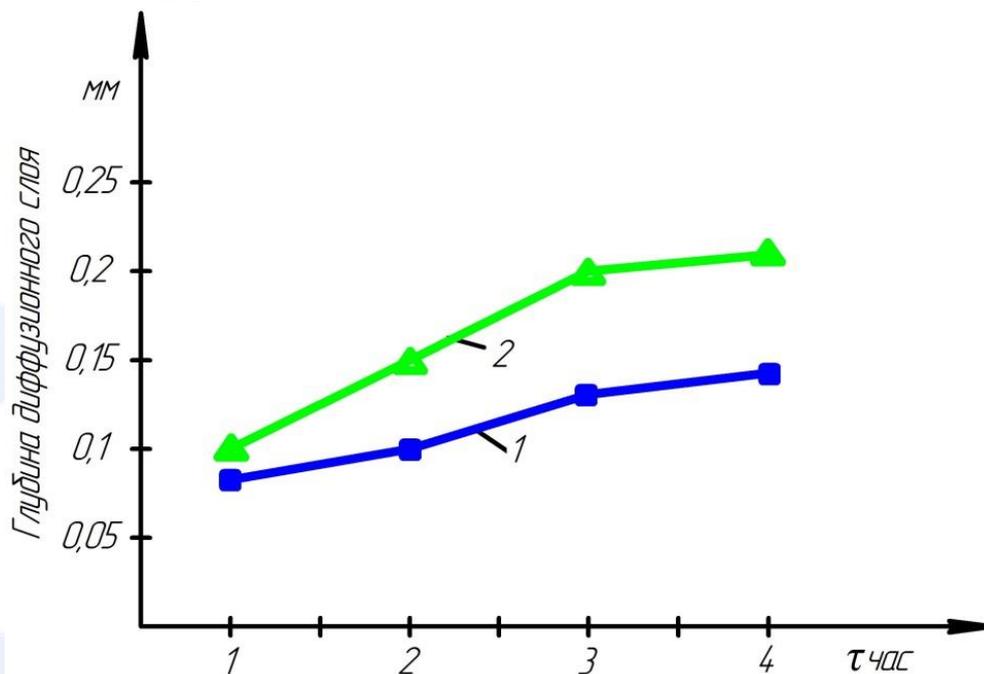


Рис.3.19. Влияние времени выдержки на глубину диффузионного слоя стали 4ХМФС после заковки с  $1150^{\circ}\text{C}$  и процесса нитроцементации при температурах  $550^{\circ}\text{C}$  (кривая 1) и  $600^{\circ}\text{C}$  (кривая 2), состав 1.

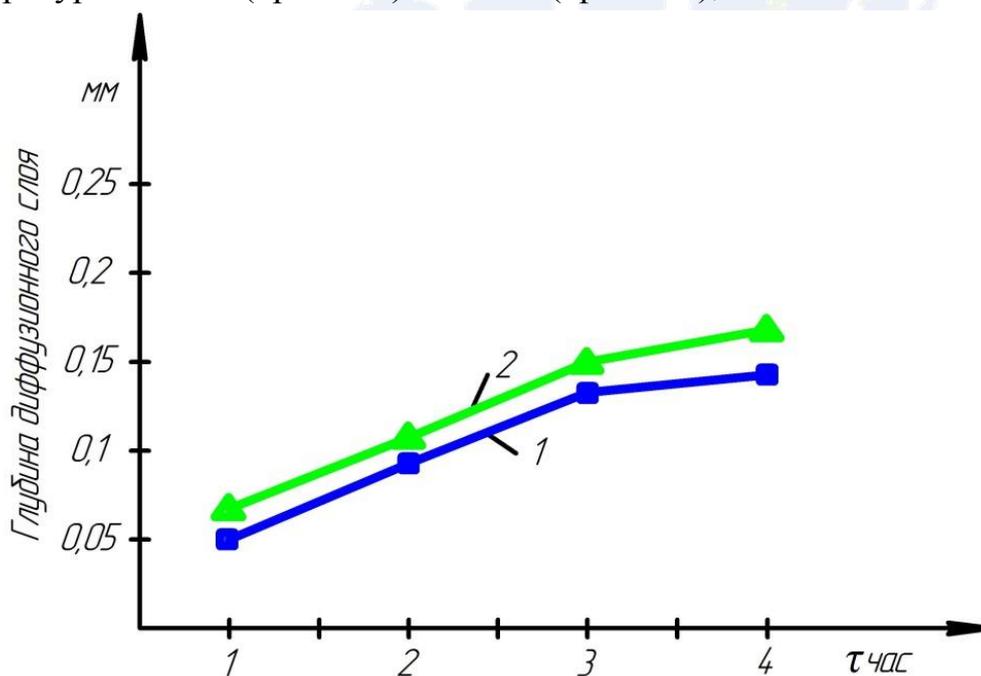


Рис.3.20. Влияние времени выдержки на глубину диффузионного слоя стали 4ХМФС после закалки с 1150°C и процесса нитроцементации при температурах 550°C (кривая 1) и 600°C (кривая 2), состав 2.

Совместное насыщение сталей азотом и углеродом резко отличается от процесса цементации [10], азотирования [11], и борирования [12]. Активность азота и углерода в процессе нитроцементации зависит от парциального давления азота и углерода, которое в свою очередь зависит от температуры насыщающей среды. [13]. При более низких температурах активно происходит генерирование азота за счет диссоциации карбамида (мочевина). С ростом температуры насыщающей среды более активно начинает выделяться углерод, который в процессе диффузии вытесняет азот в более глубокие слои стали. В нашем случае в процессе совмещения отпуска сталей с процессом низкотемпературной нитроцементации, насыщенный слой представляет собой тонкую смесь мартенсита и образовавшихся карбонитридных фаз (рис 3.21, 3.22)

На поверхности цианированного слоя образуется тонкий не травящейся слой светлой корки карбида. После слоя корки располагается толстая темно травящаяся зона, не имеющая резкой границы с основной структурой. Твердость темно травящейся зоны HV 10000 МПа, твердость светлой корки HV 8600 Мпа. Структура темно травящейся зоны представляет собой смесь мартенсита, карбидов и карбонитридов типа  $M_3(C,N)$ . Изменение микротвёрдости поверхностного слоя образца стали 4ХМФС подвергнутого низкотемпературной нитроцементации, показано на рис 3.23-3.24.

Для стали 4ХМФС микро-твердость поверхностной зоны достигает значений 8000 МПа в течение одного часа, для получения значений микро-твердости 10000МПа минимальное время насыщения должно быть три часа.

Анализ представленных данных показывает, что температуры насыщения 550°C и 600°C практически дают одно значение микро-твердости.

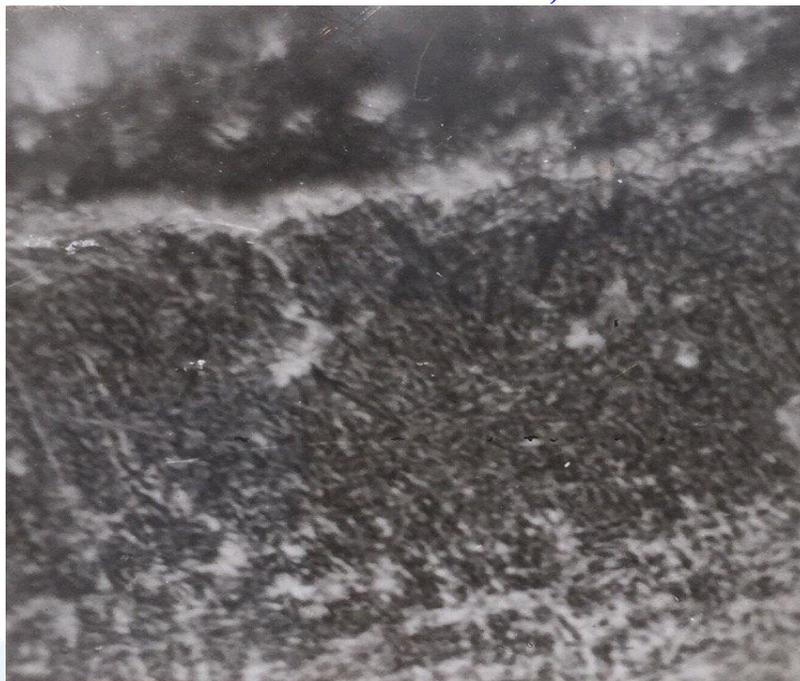


Рис 3.21 Цианированной слой после насыщения 4 часа x500



Рис 3.22  $\epsilon$  – фаза по границам зерна в цианированном слое x500

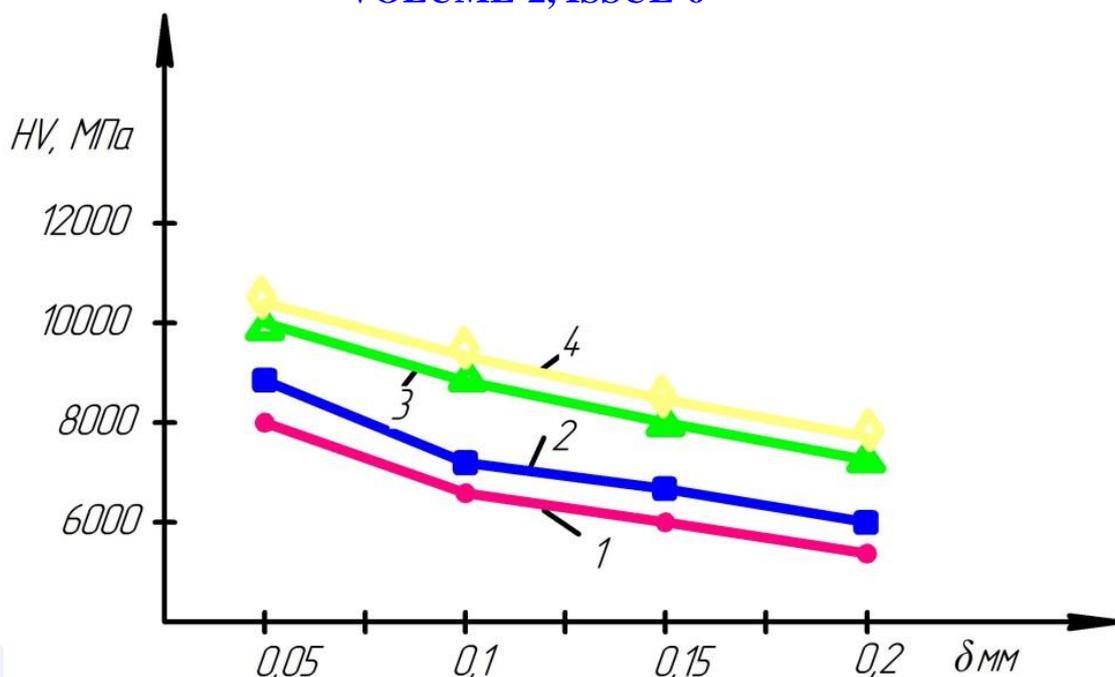


Рис.3.23. Изменение микротвёрдости цианированного слоя по глубине насыщения стали 4ХМФС.  $T_{\text{насыщ}}=550^{\circ}\text{C}$   
Время насыщения 1 – 1 час, 2 – 2 часа, 3 – 3 часа, 4 – 4 часа

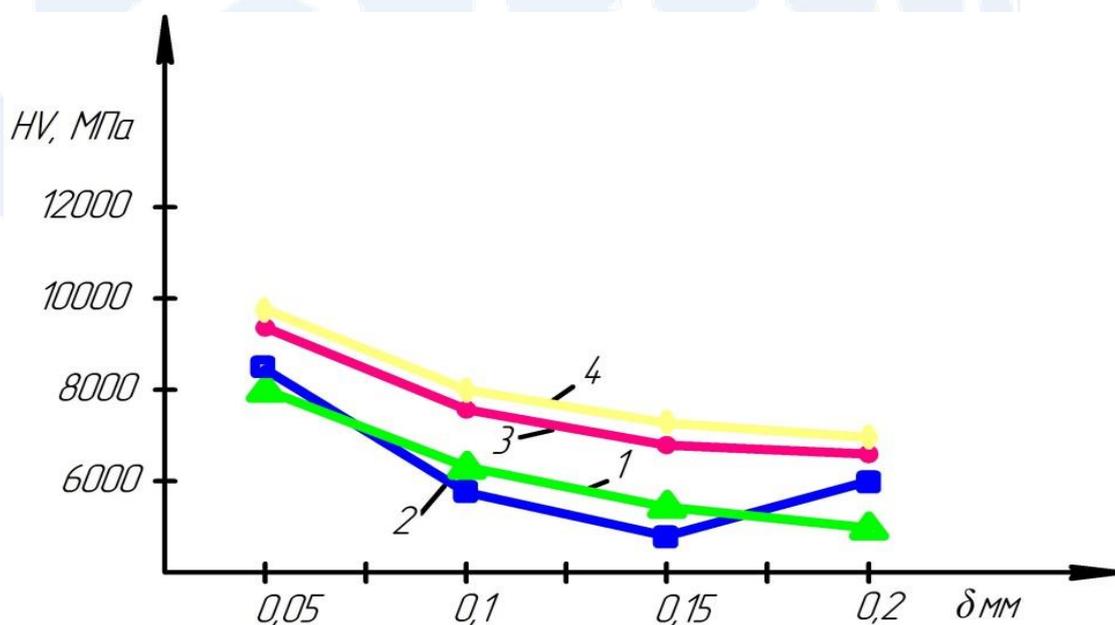


Рис.3.24. Изменение микротвёрдости цианированного слоя по глубине насыщения стали 4ХМФС.  $T_{\text{насыщ}}=600^{\circ}\text{C}$   
Время насыщения 1 – 1 час, 2 – 2 часа, 3 – 3 часа, 4 – 4 часа

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Гурьев, А.М. Термоциклическое и химико-термоциклическое упрочнение сталей/ Гурьев А.М., Ворошнин Л.Г., Хараев Ю.П. // Ползуновский вестник, 2005. – №2. -С.36-43.

2. Желанова Л. А., Шумаков А. И. Технология вакуумной нитроцементации инструмента // Прогрессивные технологии машиностроения и современность: Сборник трудов международной научно-технической конференции. 9-12 сентября, 1997 г. Севастополь-Донецк. 1997. -97с.
3. Тарасов А.Н. Химико-термическая обработка шлицевых и отрезных фрез из быстрорежущих сталей // Технология и организация производства, 1978, – №2 – С 41.
4. Костин Н.А, Колмыков В.И, Трусова Е.В, Ермакова Н.В. Способ нитроцементации из конструкционных и инструментальных сталей: Патент № 2600612 от 27.10. 2016.
5. Колмыков, В.И. Цианирование инструментальных сталей в экологически безопасном карбюризаторе [Текст] / В.И. Колмыков, Р.А. Ковынев, В.М. Переверзев, и др. // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ». 2006. – № 12. – С. 108-111.
6. Колмыков, В.И. и др. Усталостные свойства хромистых сталей при нитроцементации «Вестник Воронежского государственного университета». Воронеж: ВГТУ 2007. – Т.3 – №11. – С103-105.
7. Колмыков, В.И. Сульфоцианирование углеродистых сталей в ванне на основе карбамида/ Колмыков В.И., Трусова Е.В. [и др.]// Материалы и упрочняющие технологии - 2010: сб. материалов XVII Рос.науч.-техн. конф. с международным участием. – Курск, 2010. – С.141-145.
8. Шейнерман, В.М. Нормирование расхода карбюризатора для процессов цементации и нитроцементации // МиТОМ, 1973. №7. – С. 30-35.
9. Шубин Р. П., Гринберг М. И. Нитроцементация деталей машин. М.: Машиностроение, 1975. – 205с.
10. Руденко С.М. Валько А.А., Моденов Е.И. Структура цементированных слоев зубчатых колес трансмиссий энергонасыщенных машин. // МиТОМ, 2012. №4– С. 38-42.
11. Лахтин, Ю.М. Основы технологии химико - термической обработки/ Лахтин Ю.М., Козловский И.С. // В кн.: Термическая обработка в машиностроении: Справочник. – М.: Машиностроение, 1980. – С. 275-368.
12. Костин Н.А., Трусова Е.В. Расчет кинетики формирования диффузионных слоев при борировании сталей на основе модельных представлений.//Журнал Вопросы материаловедения 2017.№1.С.31-38.
13. Костин Н.А, Трусова Е.В. Нитроцементация сталей 40X13 и 40X5МФС для повышения стойкости режущего инструмента. Технологии упрочнения, нанесённые покрытий и ремонта: теория и практики: Сборник материалов 16-й Международной научно – технической конференций Ч.2 – СПб, 2014. -С. 90-93.