



**PAST HARORATLI NITROTSEMENTLANISHDA 4XМФС,  
4X5МФ1С PO'LATLARNING TOBLASH VA BO'SHATISHNING  
STRUKTURA SHAKLLANISHIGA TA'SIRI**

DOI: <https://doi.org/10.53885/edinres.2021.60.63.063>

*Begatov Jaxongir Muxammadjonovich*

*Belarus-O'zbekiston qo'shma tarmoqlararo amaliy texnik kvalifikatsiyalar  
instituti "Texnika fanlari" kafedra mudiri*

---

*Jalilova Malika Mirkamolovna*

*Belarus-O'zbekiston qo'shma tarmoqlararo amaliy texnik kvalifikatsiyalar  
instituti "Texnika fanlari" kafedra stajor o'qituvchisi*

---

*Annotatsiya. Hozirgi vaqtda temik va kimyoviy-termik ishlov berish usullarini qo'llash sohasida ko'plab tadqiqotlar olib borilmoqda, bir qator hal qilinmagan texnologik muammolar mavjud. Xususan, kimyoviy-termik ishlov berishning kombinatsiyalashgan usullarini o'rganishda yeyilishga bardoshligi masalalari yetarlicha o'rganilmagan, uning rivojlanishi metallarning sirt qatlamini qotish jarayonining texnologik tsikllarini kamaytirishga imkon beradi. Ushbu maqolada po'lat yuzani azot va uglerod atomlari bilan to'yinganligi bilan temperaturalash jarayonini birlashtirishga imkon beradigan texnologik operatsiyalar davomida yeyilishga bardoshli struktura shakllanishi, shuningdek kimyoviy-termik ishlov berish usullari yordamida texnologik qattiqlashuv davrlarini kamaytirish masalalari, standart uskunalardan foydalanish, mahalliy xomashyo asosida to'yinganlik muhitini tayyorlash imkonini beradi.*

*Kalit so'zlar. Nitrosegmentatsiya, metan, toblash, austenit, yeyilishga bardoshlik, issiqqa bardoshlik, martensit, uglerod.*

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАКАЛКИ И ОТПУСКА НА  
СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ СТАЛЕЙ 4XМФС, 4X5МФ1С ПРИ  
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ НИТРОЦЕМЕНТАЦИИ**

*Бегатов Жахонгир Мухаммаджонович,*

*Заведующий кафедрой «Технические дисциплины» Совместного  
Белорусско-Узбекского межотраслевого института прикладных  
технических квалификаций*

---

*Джалилова Малика Миркамаловна,*

*стажёр преподаватель кафедры «Технические дисциплины»  
Совместного Белорусско-Узбекского межотраслевого института  
прикладных технических квалификаций*

---

*В настоящее время проводится большое количество исследований в области применения методов термической и химико-термической обработки, существует ряд нерешенных технологических проблем. В частности, недостаточно изучены вопросы формирования износостойких структур при исследовании комбинированных способов химико-термической обработки, разработка которых дает возможность сокращения технологических циклов процесса упрочнения поверхностного слоя металлов. В данной работе рассматриваются вопросы формирования износостойких структур при технологических операциях позволяющих совместить процесс отпуска с насыщением поверхности стали атомами*

азота и углерода, а также вопросы по сокращению технологических циклов упрочнения с помощью методов химико-термической обработки, возможности использования стандартного оборудования, подготовки среды насыщения на основе местного сырья.

*Ключивые слова.* Нитроцементация, метан, закалка, аустенит, износостойкость, теплостойкость, мартенсит, углерод.

## **INFLUENCE OF HARDENING TEMPERATURE AND TEMPERATURE ON STRUCTURE FORMATION OF STEELS 4XМФС, 4X5МФ1С AT LOW TEMPERATURE NITROCEMENTATION**

*Begatov Jakhongir Mukhammadzhonovich,*

*Head of the Department of «Technical disciplines» of the Joint Belarusian-Uzbek Interdisciplinary Institute of Applied Technical Qualifications*

*Jalilova Malika Mirkamalovna,*

*trainee teacher of the department «Technical disciplines» of the Joint Belarusian-Uzbek Interdisciplinary Institute of Applied Technical Qualifications*

*Currently, a large number of studies are being carried out in the field of application of methods of thermal and chemical-thermal treatment; there are a number of unsolved technological problems. In particular, the issues of the formation of wear-resistant structures have not been sufficiently studied in the study of combined methods of chemical-thermal treatment, the development of which makes it possible to reduce the technological cycles of the process of hardening the surface layer of metals. This paper discusses the formation of wear-resistant structures during technological operations that allow combining the tempering process with saturation of the steel surface with nitrogen and carbon atoms, as well as issues of reducing technological hardening cycles using chemical-thermal treatment methods, the possibility of using standard equipment, preparation of a saturation medium based on local raw materials.*

*Keywords.* Nitrocarburizing, methane, quenching, austenite, wear resistance, heat resistance, martensite, carbon.

**Введение:** Инструментальные стали разделяются по назначению на два основных класса – режущие и штамповые стали [1]. По теплостойкости они различаются на нетеплостойкие, полутеплостойкие и теплостойкие [2]. Из режущих инструментальных сталей изготавливается большая номенклатура режущего инструмента от различных резцов, фрез, сверл, протяжек, метчиков и т.д. до сложного комбинированного инструмента. При этом основным классом инструментальной стали для изготовления режущего инструмента являются стали быстрорежущего класса. Как режущие, так и штамповые инструменты подвергаются большим контактными и тепловым нагрузкам, поэтому от них требуется высокая твердость, прочность, износостойкость и теплостойкость [3]. Все эти свойства стали получают в процессе термообработки и химико-термической обработки [4]. В процессе различных режимов термообработки стали имеют мартенситную структуру, а при применении легированных сталей образуется мелкодисперсные карбиды, обеспечивающие твердость и теплостойкость. Согласно [5] показателем уровня теплостойкости является температура двухчасового

отпуска закаленной стали на требуемую твердость. Износостойкость инструмента определяется скоростью изнашивания инструмента на которую влияет температура и контактное давление, которое испытывает поверхностный слой инструмента. Однако необходимо отметить, что в ряде случаев применение стандартных режимов термообработки и химико-термической обработки не может обеспечить необходимой уровень твердости и теплостойкости. Не менее важными, помимо износостойкости, являются технологические свойства, в частности, к таким свойствам относятся: закаливаемость, прокаливаемость, отсутствие обезуглероживания во время нагрева под закалку, обрабатываемость резанием.

Теоретические исследования: Технологической особенностью процессов насыщения стали азотом и углеродом является возможность применения широкого интервала температур насыщения [6]. В зависимости от температурных интервалов насыщения различают высокотемпературные, среднетемпературные, низкотемпературные процессы нитроцементации. Цианирование стали осуществляется в расплавленных солях, состоящих из цианистого натрия или цианистого калия. Температурный интервал насыщения составляет 900-950°C при высокотемпературном цианировании, 820-870°C – при среднетемпературном цианировании. Оба эти процесса являются достаточно токсическими и нарушают экологическую безопасность. Кроме этого, в процессах сложно осуществлять регулирование глубины насыщения и концентрацию атомов азота и углерода в насыщаемых слоях. Поэтому основное применение в промышленности получил процесс газовой нитроцементации [7]. Газовая нитроцементация осуществляется путем подачи в пространство печи смеси природного газа и аммиака или смеси метана и аммиака (эндогаз) [8]. Вместе с тем этот процесс имеет и недостатки: - отсутствие точных данных по добавке аммиака, т.е. в каждом отдельном случае проводится предварительный расчет, включающий в себя данные о размерах печи, температуры процесса, количеству пропускаемого газа;

- изменение содержания недиссоциированного аммиака в различных конструкциях печей, влияющее на результаты нитроцементации.

Достаточно хорошие и стабильные результаты процессов нитроцементации получаются при неизменных установленных параметрах процесса, что возможно только в условиях массового производства, с использованием агрегатов непрерывного действия для определенной конструкции детали [9]. При этих условиях возможно осуществление автоматизации технологического процесса нитроцементации, что является основным экономическим преимуществом данного процесса.

Однако применение газовой нитроцементации в условиях одиночного и мелкосерийного производства ведет к удорожанию процесса из-за выше указанных недостатках. В этом случае преимуществом обладает процесс нитроцементации в твердой среде для процесса низкотемпературной нитроцементации использовали твердую среду, состоящую 60-80% из твердого карбюризатора газовой сажи и 30-40% карбамида  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  – мочевины. Контейнер с образцами и насыщающей средой помещали в разогретую до разных температур (550-600°C) печь и время насыщения исчисляли с момента установления температуры после загрузки контейнера.

Экспериментальные исследования: Режимы комбинированной химико-

термической обработки заключались в следующем. Закалка производилась с различных температур нагрева. Для сталей 4ХМФС, 4Х5МФ1С брались стандартные температуры нагрева: 920-930°C для стали 4ХМФС, 1020°C для стали 4Х5МФ1. В качестве второго режима нагрева под закалку для сталей 4ХМФС. Для быстрорежущей стали режимы нагрева под закалку были 1200-1230°C.

Нагрев сталей под закалку проводился в соляных ваннах NaCl и BaCl<sub>2</sub>. Нагреву подвергали образцы сталей 20x20x10, время нагрева 0,3-0,5 мин на 1 мм сечения. После нагрева осуществлялась закалка в масло. Затем проводился отпуск с совмещением процесса нитроцементации.

Металлографические исследования проводили на микроскопах МИМ-8, НЕОФОТ-21 с применением увеличения от 100 до 800 раз. Подготовку и травление шлифов производили в соответствии со стандартными методиками [10]. Величина аустенитного зерна определялось по ГОСТ 5639-82.

Состояние тонкой структуры определяли рентгенографически. Съёмки рентгенограмм проводили в режиме автозаписи с применением эталона из тех же сталей на рентгеновских дифрактометрах: Дрон 3.0-Дрон-3М. Использовали излучение железного анода. Определяли физическую ширину рентгеновской линии методом аппроксимации с использованием поправочных графиков [11]. Для получения каждого результата использовали не менее четырех рентгенограмм и определяли среднеарифметическую величину физической ширины линии. Результаты состояния тонкой структуры определялись непосредственно по физической ширине рентгеновской линии интерференции. Подсчитывалась плотность дислокаций по формуле

$$\rho = \beta^2 / (2b^2) \cdot \text{ctg}^2 \theta \quad (1)$$

где

$\theta$  – угол отражения,

$\beta$  – физическая ширина рентгеновской линии,

$b$  – вектор Бюргера,

Период кристаллической решетки находили по положению центра тяжести распределения линии интерференции:

$$\alpha = \lambda / 2 \sin \theta \sqrt{(h^2 + k^2 + l^2)} \quad (2)$$

где

$\lambda$  – длина волны рентгеновского излучения,

$\theta$  – угол отражения,

$h, k, l$  – кристаллографические индексы.

Изменение периода кристаллической решетки обусловлено различным растворением углерода и легирующих элементов, зависящим от температуры нагрева под закалку.

Для определения количества остаточного аустенита после термической обработки проводили съёмку рентгеновских линий (211) где  $\alpha$  – фаза (200)  $\gamma$  – фазы. Расчет проводился путем определения отношений интенсивности этих линий.

Анализ результатов: Закалка стали с различных температур нагрева предполагает обычно рост аустенитного зерна и при охлаждении стали получается крупноигльчатый мартенсит. Наличие легирующих элементов

несколько снижает рост интенсивности аустенитного зерна. Известно [12], что основным барьером, препятствующим росту аустенитного зерна, являются труднорастворимые тугоплавкие фазы. В основном, это карбиды и нитриды. Основным препятствием к росту аустенитного зерна для рассматриваемых сталей являются карбиды легирующих элементов Cr, Mo, V. При нагреве под закалку исследуемых сталей происходит также рост аустенитного зерна (рис.1), однако он не так резко выражен, как для простых углеродистых сталей. Структура этих сталей после закалки с температур 1100-1150°C представляет собой мартенсит, остаточный аустенит и карбиды легирующих элементов.

В ранее проведенных исследованиях было установлено, что при закалке инструментальных сталей с экстремальных температур 1100-1200°C формируется структура с повышенной плотностью дислокаций. Было установлено, что при этих температурах происходит начальный этап растворения тугоплавких примесных фаз. Всё это в целом приводит к возникновению химической неоднородности аустенита и росту аустенитного зерна (рис.1). Во время закалки при резком охлаждении образуется повышенный уровень дефектности кристаллического строения  $\alpha$ -фазы. В процессе отпуска в этих сталях происходит обратный процесс – выделение карбидов и примесных фаз в виде тонкодисперсных частиц. Это влияет на процент содержания образовавшегося остаточного аустенита. Поэтому были проведены исследования по определению влияния температуры закалки на процент остаточного аустенита (рис. 2, 3).

Температуры закалки для каждой марки стали применялись согласно методике эксперимента и варьировались от стандартных температур до температуры до 1200 0С.

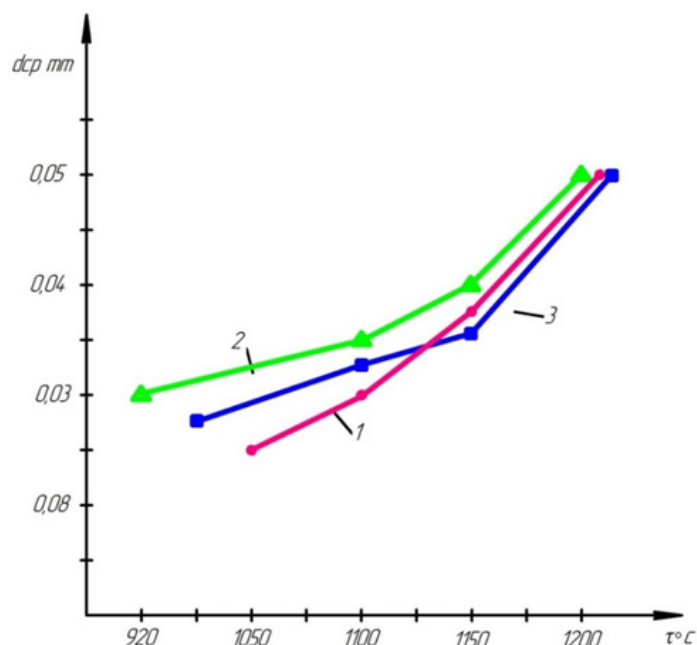


Рис.1. Величина аустенитного зерна стали в зависимости от температуры закалки  
1 – Сталь X12Ф1, 2 – Сталь 4ХМФС, 3 – Сталь 4Х5МФ1С

Таким образом, необходимо отметить, что влияние высокотемпературной закалки на рост аустенитного зерна и величину остаточного аустенита неоднозначно. С ростом температуры нагрева под закалку зерно растет, но прирост при температурах 1100-1150°C не столь значителен, зерно резко вырастает только при нагреве 1200°C.

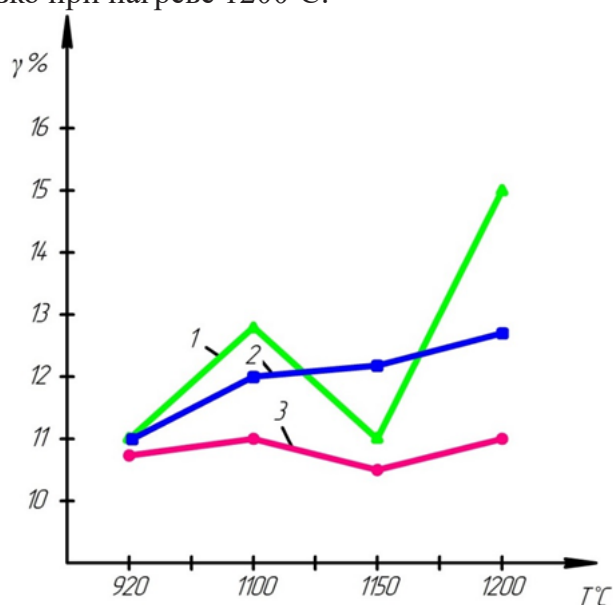


Рис 2. Содержание остаточного аустенита после закалки от различных температур стали 4ХМФ  
1 – без отпуска, 2 – отпуск 550°C, 3 – отпуск 600°C

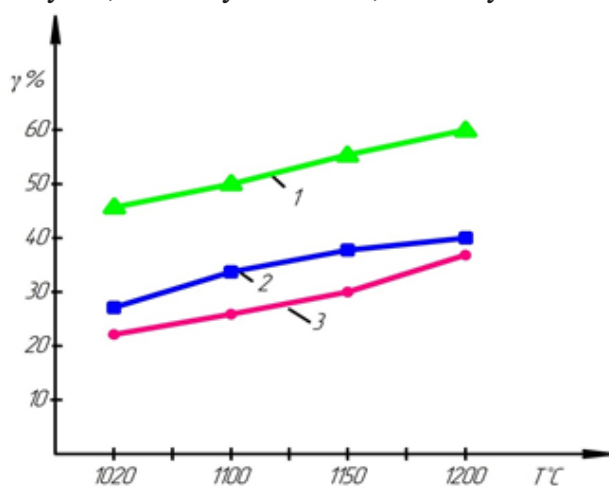


Рис.3. Содержания остаточного аустенита после закалки от различных температур стали 4Х5МФ1С  
1-безотпуска, 2-отпуск 550°C, 3-отпуск 600° С

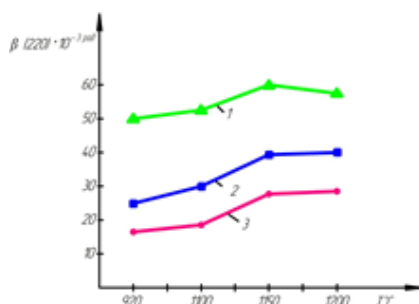


Рис.4. Влияние температуры закалки и отпуска стали 4ХМФС на ширину рентгеновской линии (220):  
1-без отпуска, 2-отпуск 550°C, 3-отпуск 600°C

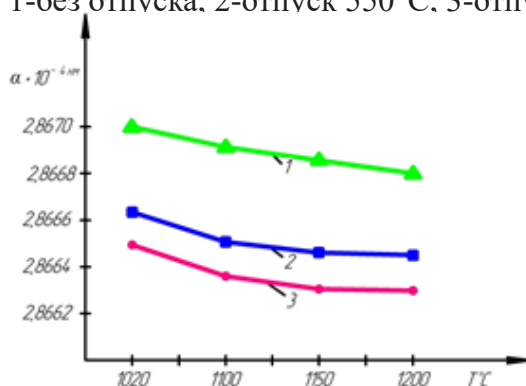


Рис.5. Влияние температуры закалки и отпуска на параметр кристаллической решетки стали 4ХМФС:  
1-без отпуска, 2-отпуск 550°C, 3-отпуск 600°C

Содержание остаточного аустенита после применения закалки с отпуском для сталей 4ХМФС, 4Х5МФ1С меняется незначительно от стандартных температур до 1150°C и опять резко возрастает после закалки с 1200°C в независимости от температуры отпуска. Причем во всех случаях минимальных значений остаточный аустенит достигает при применении отпуска 600°C.

Так как ширина рентгеновской линии (220) и (211) является интегральной характеристикой дефектности кристаллического строения, то в начале были проведены исследования по влиянию режимов закалки и отпуска на ширину линии (220) (рис.4)

Период кристаллической решетки определялся согласно по положению центра тяжести распределения линии интерференции (раздел 2). Оба эти параметра структуры имеют большое влияния на износостойкость стали [13].

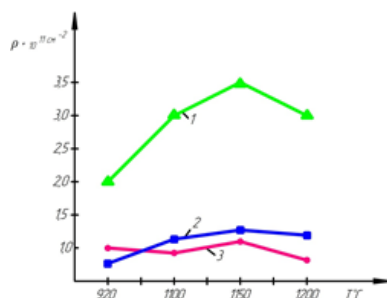


Рис.6. Влияние температуры закалки и отпуска на плотность

дислокаций стали 4ХМФС:

1-без отпуска, 2-отпуск 550°C, 3-отпуск 600°C

Результаты исследований состояния тонкой структуры сталей указывают на то, что максимальный уровень дефектности кристаллического строения исследуемых сталей формируется при проведении закалки с температур 1150-1200°C, что подтверждается данными по физическому уширению линий (220) и (211) и повышению плотности дислокаций (рис. 5) [14]. Параметр кристаллической решетки при этом уменьшается (рис.6), т.к. повышение плотности дефектов кристаллической решетки ведет к значительному уменьшению количества углерода в тетрагональной решетке мартенсита, то есть часть атомов углерода уходит на дефекты решетки [15].

Выводы.

1. Применение высокотемпературной закалки для всех рассматриваемых марок сталей приводит к увеличению дефектности кристаллического строения, а также к росту процента остаточного аустенита.

2. Установлена возможность совмещения процессов отпуска и низкотемпературного цианирования при температурах 550-600°C.

3. Наиболее эффективный состав насыщения показывает состав 2 (60% сажи + 40% карбамида).

4. Глубина насыщения зависит от температуры и времени выдержки для всех рассматриваемых марок сталей.

5. Наибольшее значение по глубине диффузионного слоя достигается при температуре 600°C и выдержке в районе 3-4 часов.

6. Наибольшее значение микротвёрдость поверхностного слоя достигает в процессе нитроцементации при выдержке 3-4 часа для всех марок сталей.

7. Микротвёрдость для сталей 4ХМФС и 4х5МФ1С достигает значений от HV 8000 до HV 10000

Список литературы

1. Чуднин О.В., Гладова Г.В. Выбор материалов и методов упрочнения деталей транспортного Машиностроения, М.: МАДИ. 2015. – 118 с.

2. Гуляев А.М, Гуляев А.А. Металловедения – М.: Металлургия - 2011-576с.

3. Богодухов С.И., Козик Е.С. Материаловедение – М.: Машиностроение, 2015. – 284 с.

4. Степанкин И.Н., Кеньков. М., Батко А.А. Влияние науглероживания и температуры закалки на стойкость штампового инструмента из стали Р6М5. // Журнал МиТОМ 2013. –№8. – С 19-23.

5. Лахтин Ю.М. Материаловедение. – М.: Издательский дом Альяс, 2009-527 с

6. Тихонов А.К., Палагин Ю.М. Методы азотирования, применяемые в ОАО «АВТОВАЗ» МиТОМ, 2011 – №2 – С. 34-38.

7. Федулов В.Н. Оптимизация температурного режима закалки для повышения теплостойкости инструментальной стали 4Х5МФ1С в различных заготовках. Выбор режима закалки стали 4Х5МФ1С для повышения твердости и теплостойкости после отпуска// Литье и металлургия 2017. – №3. –С.70-77.

8. Федулов В.Н. Пути повышения стойкости высоконагруженного инструмента горячей высадки головок болтов / Литье и металлургия, 2016. – №1 – С. 120





9. Трусова Е.В. Твердость и внутренние напряжения в нитроцементованных слоях наплавленного металла штамповых сталей [Текст]/ Трусова Е.В., Костин Н.А. //Металлургия машиностроения. 2011. № 6. С. 44-49.

10. Steel heat treatment; Metallurgy and Technologies. Edited by George. E. Totten.

11. Исаенкова М.Г, Перлович Ю.А., Скрытный В.Ч., Соколов Н.А, Яльцев В.И. Рентгеновская дифрактометрия: Учебное пособие. – М.: МИФИ, 2007. –60с.

12. Begatov J.M., Norhodjaev F.R., Muhkamedov A.A. The effect of extreme tempering temperatures and subsequent tempering on the structure forming and properties of die steels. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 6, Issue 4, April 2019

13. Бердиев Д.М. Повышение износостойкости сталей термической обработкой с предварительной подготовкой структуры // Техника и технология – М.: 2006. №6. -С.111-113.

14. Струк В.А. и др. Материаловедение в машиностроении и промышленных технологиях. М.: Издательский дом «Интеллект», 2010. –536 с.

15. Steel heat treatment; Metallurgy and Technologies. Edited by George. E. Totten.