

*Елисеева А.Н., Рабыко М.А.*

*Научный руководитель: Шеменков В.М., канд.техн.наук, доц.  
Беларусь, Могилев, Белорусско-Российский университет*

## **ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ, ОСНОВАННОЙ НА ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ И ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕНА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ОВЕРНОСТНЫХ СОЕВ СТАЛЕЙ**

**Введение.** На современном этапе развития техники к ответственным деталям предъявляются достаточно высокие требования по твердости и износостойкости, вместе с тем и по прочности вязкости. Данный баланс может обеспечить только путем формирования разных свойств поверхности и сердцевины детали, т.е. формирование твердой и износостойкой поверхности и достаточной прочной и относительно вязкой сердцевины. Данный баланс возможно обеспечить формированием как термической обработки, так и химико-термической обработки (ХТО). Однако, термическая обработка не позволяет сформировать на поверхности изделия твердые соединения, такие как карбиды, нитриды, карбонитриды и др. Это возможно осуществить при помощи химико-термической обработки[1].

Учитывая определяющую роль поверхностного слоя в обеспечении износостойкости инструментальной оснастки, в настоящее время исследователи большое внимание уделяют разработке, развитию и совершенствованию различных методов повышения износостойкости поверхностных слоев[1].

**Основная часть.** Химико-термическая обработка как конструкционных, так и инструментальных сталей приводит к повышению твердости, износостойкости, коррозионной стойкости и, создавая на поверхности изделий благоприятные остаточные напряжения, увеличивает их надежность и долговечность. Химико-термическая обработка является основным способом поверхностного упрочнения деталей. Химико-термическая обработка является одним из основных способов модифицирования поверхностного слоя детали. Основными разновидностями ХТО можно выделить как азотирование, нитроцементацию, диффузионную металлизацию[1].

При цементации температуру выбирают исходя из требуемой степени науглероживания заготовки. Она находится в пределах от 1073 до 1173 К. Цементацию, как правило, применяют для обработки

низкоуглеродистой или легированной стали, так как внутренняя часть детали должна оставаться вязкой после процесса закалки.

При азотировании поверхностный слой глубиной до 2 мм подвергается насыщению азотом без изменения структуры основного металла.

Азотирование как процесс имеет несколько разновидностей, отличающиеся друг от друга способом выделения азота, температурой самого процесса и составом рабочей среды.

Однако при всем разнообразии способов им присущ общий признак – это формирование азотного слоя за счет диффузионных процессов, что приводит к повышению твердости и износостойкости поверхностного слоя. Основным достоинством изделий, прошедших азотирование является то, что поверхностные слои сохраняют свои механические характеристики при относительно высоких температурах (до 873 К). В сравнении с другими способами как цементация и закалка их эксплуатационные свойства поверхностных слоев обрабатываемой детали в 1,5–2 раза выше.

При всех перечисленных достоинствах процессов химико-термической обработки они достигли предела формирования износостойкого поверхностного слоя, в результате чего в последнее время необходимы дополнительные методы повышения твердости и износостойкости материалов.

Для практики производства инструментальной и технологической оснастки большой интерес представляет исследования, проводимые в Белорусско-Российском университете по установлению влияния технологических факторов обработки тлеющим разрядом на структурно-фазовые изменения в материалах, подвергнутых химико-термической обработке.

В рамках работы исследования проводились на образцах из:

- Стали X12MФ ГОСТ 5950-2000, которые были подвергнуты закалке в масле от 1243 К (выдержка 1 ч 30 мин), отпуску при 453 К в течении 2 ч с последующим ионным азотированием при температуре 673-723 К.

- Стали 20ХН3А ГОСТ 4543-71 были подвергнуты цементации в твердом карбюризаторе при температуре 1193 К, охлаждению на воздухе от 1163 К, закалке в масле от 1073 К (выдержка 1 ч 30 мин), отпуску при 453К в течении 2ч.

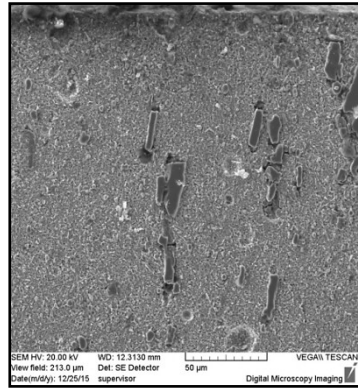
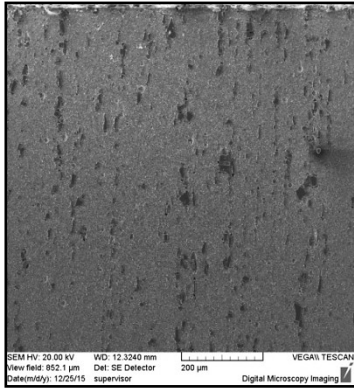


Рисунок 1. Структура стали X12MФ после азотирования до обработки тлеющим разрядом

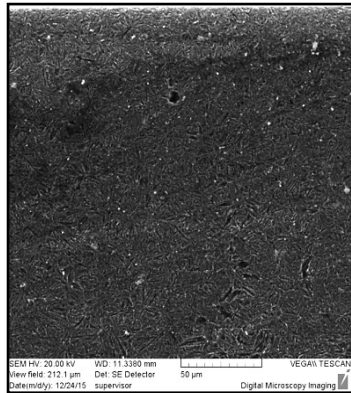
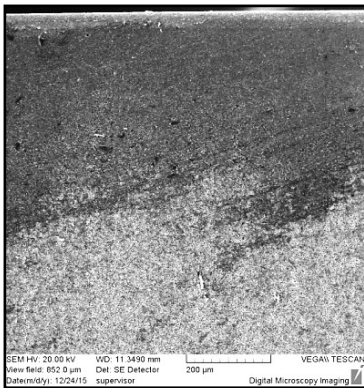


Рисунок 2. Структура стали 20ХН3А поле цементации до обработки тлеющим разрядом

На основании электронно-сканирующей микроскопии установлено, что химико-термическая обработка формирует в сталях классическую структуру, получаемую после цементации (рисунок 2) и азотирования (рисунок 1).

С точки зрения практики изготовления ответственных деталей инструментов вызывает интерес влияние технологических параметров обработки тлеющим разрядом на структуру и свойства

поверхностного слоя сталей, подвергнутых химико-термической обработке.

В дальнейшем образцы были подвергнуты обработке тлеющим разрядом с напряжением горения  $U = 3,0$  кВ, плотностью тока  $0,0375$  А/м<sup>2</sup> в течении 45 минут с использованием электромагнитной системы (рисунки 3,4). Обработка достигается использованием способа упрочнения изделий в тлеющем разряде с использованием электромагнитной системы, при котором осуществляют обработку поверхности изделий, помещенных на катоде, в вакууме с разрежением от 10 до 10<sup>-6</sup> мм рт. ст., напряжением от 1 до 5 кВ, при плотности тока от 0,005 до 0,05 мА/см<sup>2</sup>, с расстоянием между анодом и катодом от 600 до 800 мм в течение от 15 до 45 мин, согласно изобретению, обработку осуществляют посредством электромагнитной системы, включающей электромагнитную линзу и по меньшей мере одну отклоняющую катушку, смонтированную на диэлектрическом основании, установленном на катоде на расстоянии до 600 мм, на которую подают ток от 0,5 до 10 А/мм<sup>2</sup>. Для реализации способа используют вакуумную камеру с расположенными в ней анодом и катодом, подключенными к высоковольтному источнику питания и электромагнитную систему, состоящую их электромагнитной линзы и одной или нескольких отклоняющих катушек [2].

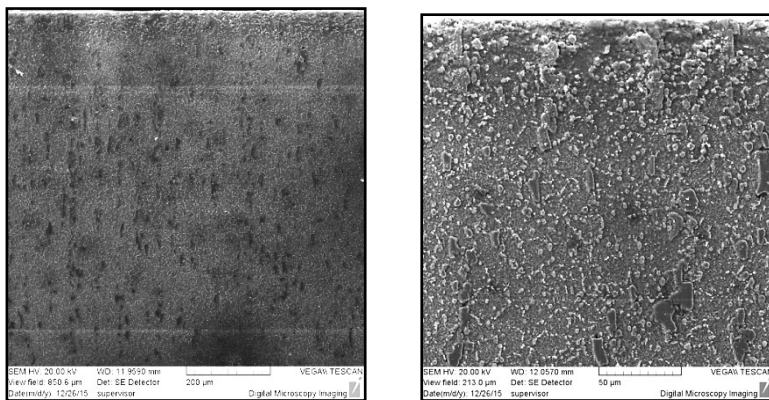


Рисунок 3. Структура азотированной стали X12МФ после обработки в тлеющем разряде с напряжением горения  $U = 3,0$  кВ, силой тока  $I = 25$  мА, времени обработки  $T = 45$  мин

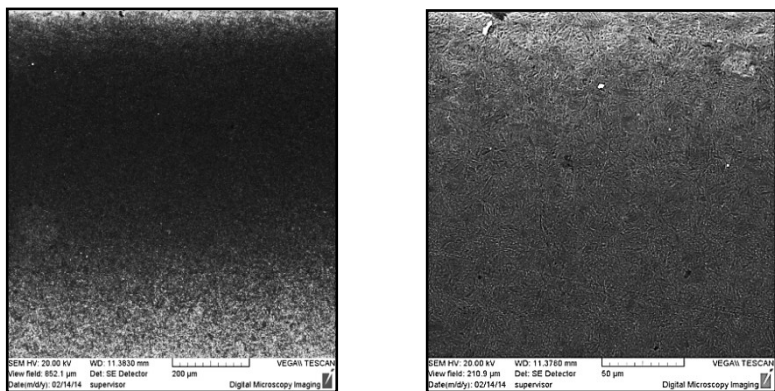


Рисунок 4 . Структура цементированной стали 20ХН3А после обработки в тлеющем разряде с напряжением горения  $U = 3,0$  кВ, силой тока  $I = 25$  мА, времени обработки  $T = 45$  мин

Анализ образцов показал, что модифицирующая обработка в тлеющем разряде приводит к диспергированию карбидных включений и их равномерному распределению в поверхностном слое на глубину до 30 мкм (рисунок 3,4). В случае обработки цементированной стали 20ХН3А дополнительно происходит формирование структуры мелкоигльчатого мартенсита.

На основании дюррометрического анализа и исследования износостойкости поверхностных слоев получены математические модели, которые адекватно описывают область оптимума, графические интерпретации данных моделей представлены на рисунках 5,6. Установлено, что указанные структурные изменения, протекающие в поверхностном слое исследуемых образцов приводят к повышению поверхностной твердости и износостойкости.

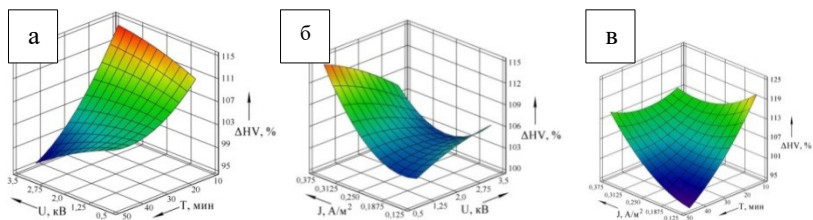


Рисунок 5. Влияние напряжения  $U$ , кВ, тлеющего разряда и времени обработки  $T$ , мин (а), напряжения  $U$ , кВ, и плотности тока  $J$ ,  $A/m^2$  (б) и плотности тока  $J$ ,  $A/m^2$ , тлеющего разряда и времени обработки  $T$ , мин (в) на приращение микротвердости по Виккерсу поверхности образцов из цементированной стали 20ХНЗА

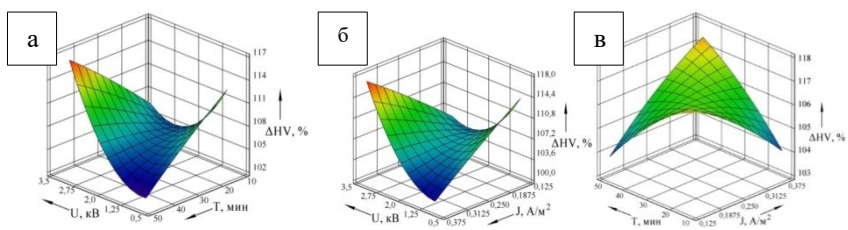


Рисунок 6. Влияние напряжения  $U$ , кВ, тлеющего разряда и времени обработки  $T$ , мин (а), напряжения  $U$ , кВ, и плотности тока  $J$ ,  $A/m^2$  (б) и плотности тока  $J$ ,  $A/m^2$ , тлеющего разряда и времени обработки  $T$ , мин (в) на приращение микротвердости по Виккерсу поверхности образцов из азотированной стали X12МФ

**Выводы.** При всех достоинствах процессов химико-термической обработки они достигли предела формирования износостойкого поверхностного слоя, в результате чего в последнее время необходимы альтернативные методы повышения твердости и износостойкости поверхности деталей машин.

Одним из перспективных методов является обработка тлеющим разрядом, приводящая к структурным изменениям в поверхностных слоях материалов, прошедших химико-термическую обработку, выражающая диспергирование карбидных включений и их равномерному распределению в поверхностном слое на глубину до 30 мкм, приводящая к повышению износостойкости в 1,5-2 раза и приращению поверхностной твердости на 10-15%.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Структурно-фазовое модифицирование инструментальных материалов тлеющим разрядом: [монография] / В.М. Шеменков [и др.] ; под общ. ред. канд. техн. наук, доц. В.М. Шеменкова. – Могилев : Беларус.-Рос.ун-т, 2017. – 270с.

2. Патент 22366 Республика Беларусь, МПК (2006.01) С 23С 14/38. Способ упрочнения изделий из металлов, или сплавов, или сверхтвердых материалов в тлеющем разряде с использованием электромагнитной системы / В.М.Шеменков, И.И.Маковецкий, В.А.Зеленин, М.А.Белая, А.Л.Шеменкова, А.С.Рабыко, А.Н.Елисева; заявитель Государственное учреждение высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет».– №22366; опубл. 28.02.2019.

3. Методы повышения эксплуатационных свойств материалов, основанные на термическом воздействии /А.Н. Елисева, М.А. Рабыко //Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф./ Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2020. - С. 42.

4. разряда на структуру и фазовый состав азотированной стали 4Х4ВМФС // М. А. Белая, А. С. Рабыко, А. Н. Елисева, В. С. Выщепольский// Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности. Материалы международной научно-технической конференции молодых ученых Могилев, 27–28 октября 2016 г. – С. 57.

5. В. С. Выщепольский, А. Н. Елисева, А. М. Башкеев, А. О. Аржанов, Технологические аспекты процесса ионного азотирования // 52-я студенческая научно-техническая конференция: материалы конф.: тез. докл. 5-6 мая 2016 г. – Могилев, 2016. – С. 46.

6. Гуляев А.П. Металловедение, 1986г. 272 с.

7. Васильев А.С., Дальский А.М., Золотаревский Ю.Н., Кондаков А.И. Направленное формирование свойств изделий машиностроения / под ред. А.И. Кондакова. М.: Машиностроение, 2005. 352 с.