

## **ОТЗЫВ**

### **официального оппонента**

на диссертацию Костина Николая Анатольевича

«Научно-технологические основы интенсивного азотонауглероживания

из активных сред сталей штампового инструмента»,

представленную на соискание ученой степени доктора

технических наук по специальности 2.6.1 – Металловедение и термическая

обработка металлов и сплавов

### **Актуальность темы исследования**

В настоящее время предъявляются повышенные требования к стойкости штамповых инструментов, применяемых в процессе обработки металлов давлением, что обусловлено широким применением такой технологии при массовом изготовлении изделий в различных отраслях машиностроения. В этой связи целесообразно проведение исследований, целью которых является повышение стойкости таких инструментов за счет создания на их поверхности упроченного слоя, полученного с помощью химико-термической обработки (ХТО). Перспективным методом ХТО является азотонауглероживание из активных сред, поэтому исследование, направленное на разработку технологических процессов азотонауглероживания, состава активных сред, свойств модифицированных слоев, и выполненное в рамках гранта Президента РФ, является актуальным.

### **Научная новизна исследования**

Научная новизна результатов диссертационной работы заключается в том, что в ней раскрыт механизм действия кислорода, являющегося продуктом распада карбонатов  $\text{BaCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , на поверхностные реакции, протекающие при азотонауглероживании легированных штамповых сталей. Установлено, что кислород способствует образованию на их поверхности тонкой плёнки чистого железа, которая активизирует адгезию атомов углерода и азота из внешней среды и тем самым значительно ускоряет процесс насыщения, причем у высо-

кохромистых сталей кислород может вызвать катастрофическое окисление поверхности при температурах выше  $950^{\circ}\text{C}$  за счёт образования термодинамически устойчивых оксидов хрома.

Определены закономерности образования и роста частиц карбонитридной фазы в поверхностных слоях легированных штамповых сталей при азотонауглероживании в высокоактивных средах. Показано, что карбонитриды выделяются из пересыщенного углеродом и азотом твёрдого раствора из-за снижения уровня свободной энергии в системе «аустенит-карбонитриды», а хром снижает термодинамическую активность углерода в аустените и способствует выделению карбонитридных частиц в диффузионных слоях при интенсивном азотонауглероживании хромистых сталей. Показано, что форма этих частиц определяется величиной поверхностного натяжения межфазных границ, на которую также влияет хром за счёт растворения в карбонитридах, и, тем самым, усиливая связи между атомами в их кристаллической решётке.

Установлены закономерности влияния режимов азотонауглероживания на структуру, фазовый состав, износостойкость и ударную вязкость модифицированных слоёв. Отмечено, что нитроцементация при температурах  $550\text{...}560^{\circ}\text{C}$  наиболее эффективна для штампов из высокохромистых сталей типа X12Ф1, износостойкость которых повышается в  $2\text{...}2,5$  раза за счёт образования на поверхности тонкой твёрдой корки  $\epsilon$ - карбонитрида, а насыщение при температурах  $620\text{...}660^{\circ}\text{C}$  обеспечивает образование более глубоких карбонитридных слоёв и значительное повышение износостойкости. Высокотемпературное насыщение при  $820\text{...}880^{\circ}\text{C}$  приводит к образованию двухфазных модифицированных слоёв, насыщенных твёрдыми включениями, изоморфными цементиту (по типу металлических композитов), что повышает износостойкость штамповых инструментов при удовлетворительной ударной вязкости.

### **Практическая значимость исследования**

Практическая значимость работы заключается в том, что в ней разработан состав пасты для упрочнения рабочих деталей штамповой оснастки методом азотонауглероживания, разработаны технологические режимы упрочне-

нию штампового инструмента, которые позволяют значительно повысить срок службы штампов различного назначения, сократить продолжительность процесса упрочнения и удешевить его по сравнению с традиционными методами ХТО, а также избежать экологических проблем при внедрении предлагаемых технологий в производство. Разработанные технологические процессы запатентованы и внедрены в производство на целом ряде предприятий со значительным экономическим эффектом.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Обоснованность и достоверность результатов исследований, основных положений и выводов подтверждается тем, что работа базируется на фундаментальных положениях современного металловедения, а также на использовании при проведении экспериментов комплекса взаимодополняющих методов металловедческих исследований и современного исследовательского оборудования. Полученные результаты являются воспроизводимыми, согласованными между собой и с данными, приведёнными в исследованиях других авторов. При выполнении исследований применялись современные методы исследований и оборудование, а результаты, приведённые в диссертации, получили подтверждение в производственных испытаниях.

### **Оценка содержания диссертации, автореферата, степень завершенности**

Диссертация состоит из введения, шести глав, общих выводов, списка литературы. Общий объем работы составляет 290 страниц. В работе представлено 124 рисунка, 26 таблиц. Список литературы включает 239 источников.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, изложены научная новизна и практическая значимость работы, приведены результаты работы, выносимые на защиту.

В первой главе представлен анализ условий работы штамповых инструментов для холодной и горячей штамповки, влияния различных штамповочных операций и нагрузок на штамповые инструменты, рассмотрены материалы для

штамповых инструментов холодного и горячего деформирования, выполнен анализ причин потери работоспособности штампов в процессе эксплуатации и способов повышения их стойкости.

Вторая глава содержит описание используемых материалов, оборудования и приборов для проведения экспериментальных исследований.

В третьей главе приведены результаты исследования состава азото- и углеродсодержащей среды, обеспечивающей ее повышенную активность, способствующую образованию в диффузионных слоях большого количества высокотвёрдых карбонитридов, создающих упрочняющий эффект.

В четвертой главе приведены результаты исследования особенностей формирования диффузионного слоя на штамповых сталях при азотонауглероживании в высокоактивных средах

В пятой главе изложены результаты исследования структуры и твёрдости модифицированных слоёв на штамповых сталях, и их влияния на работоспособность и стойкость штампов.

Шестая глава содержит результаты исследования упрочнения тяжелонагруженных деталей для разделения большеразмерного проката и восстановление изношенных штамповых инструментов наплавкой металла на изношенные поверхности штампов с последующей механической обработкой для восстановления формы и размеров штамповой гравюры.

Завершают диссертацию общие выводы, которые позволяют объективно оценить общую значимость выполненной работы.

Диссертация изложена технически грамотным языком и оформлена в соответствии с существующими требованиями.

Автореферат диссертации соответствует ее содержанию.

В результате выполнения диссертационной работы соискателем получены новые научные результаты:

Теоретические и технологические решения по разработке насыщающих сред для получения модифицированных слоёв на штамповых сталях, позволя-

ющие получать высокоактивные азотисто-углеродные среды, пригодные для промышленного использования.

Закономерности формирования структуры и фазового состава диффузионных слоёв на штамповых сталях с различными системами легирования при их интенсивно азотонауглероживании в высокоактивных средах.

Механизмы образования и роста карбонитридных включений в легированных сталях и их морфология, особенности модифицированных слоёв, полученных при различных температурах насыщения.

Результаты исследования толщины и твёрдости модифицированных слоёв на штамповых сталях, износостойкости и ударной вязкости штамповых сталей с модифицированными слоями на поверхности.

Технологические процессы упрочнения штамповых инструментов и результаты их промышленной апробации.

Основные результаты диссертации опубликованы в 30 работах, которые достаточно полно отражают ее основное содержание: 1 монографии, 16 публикациях в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 4 статьях в рецензируемых научных изданиях, входящих в международные базы Scopus и Web of Science, 9 патентах на изобретения РФ, более чем 20 статьях в сборниках научных конференций.

Диссертационная работа по тематике, содержанию и результатам соответствует паспорту специальности «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

### **Замечания по работе**

1. В п. 1.4 приведен обзор способов нитроцементации штампового инструмента, после которого утверждается, что другие виды ХТО, такие как цементация, борирование, хромирование и т.д. по разным параметрам уступают нитроцементации и не могут быть рекомендованы для модификации штамповых инструментов. Однако в настоящее время опубликован целый ряд работ, в которых приведены данные о положительных результатах применения других методов ХТО, например, борирования, для упрочнения штампового инстру-

мента. Поэтому в данной главе целесообразно было бы привести более подробные данные по сравнению нитроцементации с другими методами ХТО.

2. В п. 3.4 утверждается, что азотирование образцов из стали 5ХНМ при низких температурах с применением предложенной автором азотисто-углеродной пасты протекает в 10 раз быстрее, чем при традиционном азотировании в аммиаке. Следовало бы раскрыть механизм такого ускорения, тем более что основным источником азота в предложенной пасте является карбамид, при диссоциации которого также образуется аммиак.

3. В п. 4.1. упоминается о переходе атомов углерода и азота в состояние положительно заряженных ионов при их проникновении в кристаллическую решетку металла. Следовало бы более подробно описать причины и механизм такого перехода.

4. В п. 5.1. приведены уравнения регрессии, показывающие зависимость параметров диффузионного слоя от технологических параметров процесса насыщения, и утверждается, что они являются адекватными. Однако в работе отсутствует план эксперимента, и, кроме того, не указано, каким способом подтверждена адекватность полученных уравнений. Аналогичное замечание по уравнениям регрессии в п. 5.2 и 5.3.

5. В работе нет убедительного обоснования примененных методов определения механических свойств образцов с диффузионным покрытием: твердости по НРА и ударной вязкости с применением образцов Менаже, т.к. доля упрочненного поверхностного слоя невелика по сравнению с объемом всего образца. При измерении твердости следовало сопоставить толщину слоя и глубину проникновения индентора, а при измерении ударной вязкости сопоставить толщину слоя и глубину надреза на образце.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Костина Н.А.

## Заключение

Диссертация Костина Н.А. представляет собой законченную самостоятельную научную работу, в которой изложены новые технические решения в области создания диффузионных покрытий на штамповых сталях, реализация которых может внести весомый вклад в развитие отечественной промышленности. Представленная работа по своей актуальности, научной новизне и практической значимости соответствует требованиям к докторским диссертациям, содержащимся в Положении о порядке присуждения ученых степеней, утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, а ее автор Костин Николай Анатольевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1. – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.



Степанов Макар Степанович

24.11.2023

Официальный оппонент:

Ученая степень: доктор технических наук, *доцент*

Шифр специальности, по которой защищена диссертация:

05.16.09 «Материаловедение (машиностроение)»

Основное место работы (полное наименование организации):

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет»

Наименование структурного подразделения:

кафедра «Управление качеством»

Должность: профессор

Почтовый адрес: 344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1.

Адрес электронной почты: [stepanovms@yandex.ru](mailto:stepanovms@yandex.ru)

Телефон 8(928) 111-76-41

Подпись профессора М.С. Степанова заверяю:

Ученый секретарь Ученого совета



В.Н. Анисимов