

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ЛАПЧЕНКО АЛЕКСЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

УДК 621.787.5

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОМПЛЕКСНОГО НАСЫЩЕНИЯ
БОРОМ, ТИТАНОМ И АЛЮМИНИЕМ ПРИ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКЕ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ В ПОРОШКОВЫХ СМЕСЯХ**

Специальность 05.16.01- «Металловедение и термическая обработка металлов»

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание научной степени
кандидата технических наук**

Донецк – 2009

Диссертацией является рукопись.

Работа выполнена в Донбасской государственной машиностроительной академии Министерства образования и науки Украины, г. Краматорск.

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
ЗАБЛОЦКИЙ Владимир Кириллович,
Донбасская государственная машиностроительная академия, (г. Краматорск), заведующий кафедрой
«Технология и оборудование литейного производства».

Официальные оппоненты: доктор технических наук, старший научный
сотрудник
ЧЕРНЕГА Светлана Михайловна,
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт», (г. Киев),
профессор кафедры «Металловедение и термическая
обработка металлов»;

доктор технических наук, профессор
ДУРЯГИНА Зоя Антоновна,
Национальный университет «Львовская политехника», (г. Львов), профессор кафедры «Инженерное материаловедение и прикладная физика».

Защита состоится 17 декабря 2009 г. в 12 часов на заседании специализированного ученого совета Д 11.052.01 Государственного высшего учебного заведения «Донецкий национальный технический университет» по адресу: 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, I уч. корпус, малый актовзый зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного высшего учебного заведения «Донецкий национальный технический университет» по адресу: 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, II уч. корпус.

Автореферат разослан «___» ноября 2009 г.

Ученый секретарь
специализированного ученого совета
Д 11.052.01, д.т.н., проф.



А.В. Яковченко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В связи с постоянным развитием промышленного производства возрастают требования к эксплуатационным свойствам деталей машин, оборудования и инструмента. Для обеспечения этих требований создаются новые высоколегированные стали и сплавы, что приводит к увеличению стоимости изделий. В связи с этим, значительный интерес представляют методы поверхностной обработки, применение которых может обеспечить высокую эксплуатационную стойкость изделий при низкой себестоимости.

Применение химико-термической обработки при поверхностном легировании позволяет в значительной мере изменять свойства сталей и получать положительные результаты в повышении эксплуатационной надежности изделий. Наиболее изучены в настоящее время являются однокомпонентные процессы насыщения в порошковых смесях, однако их применение уже не может в полной мере обеспечить необходимых свойств покрытий.

Очень перспективным является многокомпонентное насыщение, которое позволяет изменять структуру и свойства поверхностных слоев в широких пределах при энергосберегающем одноразовом комплексном насыщении всеми компонентами.

Возможности комплексного насыщения сталей бором, титаном и алюминием в различных комбинациях и последовательностях реализованы не в полной мере из-за отсутствия системных данных о закономерностях формирования поверхностных слоев в зависимости от типа и соотношения насыщающих компонентов, активаторов процесса, температуры насыщения и условий термической обработки.

В связи с этим экспериментальное и теоретическое обоснование путей совершенствования процессов поверхностного легирования сплавов одновременно В, Ti и Al при химико-термической обработке в порошковых смесях является актуальной научно-технической задачей, которая представляет теоретический и практический интерес.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Работа выполнялась согласно плану научно-исследовательских работ кафедры «Металловедение, технология и термическая обработка металлов Донбасской государственной машиностроительной академии «Исследование закономерностей формирования покрытий при многофазовой химико-термической обработке» (регистрационный номер 0104U004408), «Исследование закономерностей формирования упрочняющих слоев при химико-термической обработке», (регистрационный номер 0100U005277), «Исследование закономерностей диффузии элементов и разработка технологии для поверхностного легирования сталей и чугунов», (регистрационный номер 0107U001308). Автор диссертации – исполнитель работ.

Цель и задачи исследований. Целью диссертационной работы является совершенствование процессов комплексного насыщения углеродистых сталей бором, титаном и алюминием для получения новых типов износостойких покрытий, имеющих низкую хрупкость и не растрескивающихся при закалке, на основе исследований особенностей формирования структуры и свойств поверхностных слоев в зависимости от состава насыщающей смеси, последовательности и температурно - вре-

менных параметров насыщения при химико-термической обработке в порошковых смесях.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие научно-технические задачи:

- провести системные исследования структуры покрытий при комплексном насыщении В, Ti и Al в зависимости от соотношения между насыщающими компонентами, типа активаторов, температуры и длительности насыщения;
- установить влияние закалки на состояние поверхности изделий, предварительно подвергнутых комплексному насыщению В, Ti и Al;
- на основе системных исследований установить типы структур поверхностных слоев, которые обеспечивают высокую абразивную износостойкость покрытий;
- научно обосновать области эффективного использования процессов боротитаноалитирования в порошковых смесях с целью повышения стойкости изделий;
- провести промышленное опробование и внедрение разработанных процессов насыщения в условиях производства.

Объект исследования. Процесс химико-термической обработки углеродистых сталей с насыщением поверхности бором, титаном и алюминием.

Предмет исследования. Закономерности структурообразования при комплексном насыщении изделий из углеродистых сталей бором, титаном и алюминием в порошковых смесях при различных процентных соотношениях насыщающих элементов и температурно-временных параметрах насыщения, особенности воздействия закалки и абразивного износа на состояние поверхности диффузионных слоев.

Методы исследований. Исследования выполнены на основе теории структурно-фазовых превращений при диффузионном насыщении сталей и сплавов. Для решения поставленных в работе задач применялись металлографический, дюрметрический и рентгеноструктурный методы исследований. Испытания на абразивную износостойкость проводили по методу трения о закрепленные абразивные частицы. Обработку результатов исследований проводили с помощью прикладных программ «Statistica» и «Simplex optimization of mixtures».

Научная новизна полученных результатов.

1. Впервые исследованы особенности формирования структур поверхностных слоев при комплексном насыщении углеродистых сталей бором, титаном и алюминием в зависимости от состава насыщающей смеси, температуры насыщения и длительности выдержки. Установлено, что наличие титана и алюминия в насыщающей смеси приводит к образованию твердого раствора бора, титана и алюминия в железе и замедляет образование боридов железа. Это связано с тем, что в процессе нагрева вначале происходит насыщение алюминием (800...850°C) и титаном (900°C) с образованием твердого раствора, а затем - насыщение бором (950°C) с образованием боридов железа на границе твердого раствора с основным металлом. Глубина слоя значительно увеличивается при длительности выдержки до 3 ч. При дальнейшем увеличении длительности выдержки от 3 до 7 ч. общая площадь, занимаемая слоем, увеличивается незначительно (на 1,3% от общей площади анализа). При этом происходит увеличение количества боридной фазы за счет уменьшения количества твердого раствора. Изменение соотношения фаз имеет линейную зависимость. Увеличение количества боридной фазы объясняется высокой насыщающей способно-

стью карбида бора. Были получены математические зависимости, характеризующие влияние состава насыщающей смеси на соотношение боридной фазы и фазы твердого раствора. На основании этих зависимостей установлено, что алюминий в 2 раза сильнее, чем титан, препятствует образованию боридов железа и для получения структуры, состоящей из боридов железа и твердого раствора соотношение карбида бора, ферротитана и алюминия в смеси должно составлять 7:2:1 соответственно.

2. Получили дальнейшее развитие представления о механизме последовательного насыщения сталей бором и титаном. Впервые показано, что использование последовательно процессов боротитанирования и борирования, в отличие от известного процесса последовательного титанирования и борирования, приводит к образованию боридов по границам зерен слоя твердого раствора, которые проникают через этот слой к основному металлу. Отличительной чертой этих боридов является отсутствие уменьшения толщины по мере их роста от поверхности к основному металлу в пределах слоя твердого раствора. Такое строение слоя обеспечит равномерный износ его по всей глубине.

3. Уточнено влияние закалки на состояние поверхности диффузионных слоев, предварительно подвергнутых насыщению бором, титаном и алюминием. Установлено, что образование трещин в поверхностном слое в результате закалки происходит только в пределах боридных частиц, расположенных на поверхности. Твердый раствор препятствует распространению трещин. Впервые показано, что бориды, находящиеся под слоем твердого раствора, при закалке в воде не растрескиваются.

4. Уточнена зависимость между типом поверхностного слоя, полученного комплексным насыщением В, Ti и Al и характером абразивного износа. Установлено, что после 1 часа испытаний относительный износ слоя, представляющего собой отдельные иглы боридов, расположенные в окружении твердого раствора бора, титана и алюминия в α -железе, на 0,8% превышает относительный износ боридного слоя, однако поверхность данного слоя в зоне абразивного износа имеет на 81% меньше вырывов в сравнении с поверхностью боридного слоя.

Практическое значение полученных результатов. Результаты работы могут использоваться для разработки промышленной технологии поверхностного упрочнения широкого ряда изделий: обувных резаков, ленточных ножей, калибров, а также изделий, работающих в условиях абразивного и ударно-абразивного износа (детали пресс-форм).

При выполнении работы были получены следующие практические результаты:

- предложен способ управления формированием структуры поверхностного слоя углеродистых сталей при комплексном диффузионном насыщении бором, титаном и алюминием изменением соотношения компонентов в насыщающей смеси;
- предложен способ последовательного боротитанирования и борирования, обеспечивающий равномерный износ поверхностного слоя по всей глубине;
- предложен способ предотвращения растрескивания поверхностных слоев, полученных комплексным насыщением В, Ti и Al углеродистых сталей в процессе закалки в воде за счет формирования боридов под слоем твердого раствора;
- предложен способ восстановления частично изношенных покрытий наплавкой электродом из малоуглеродистой стали с последующим повторным насыщением.

Теоретические и практические результаты, полученные в работе, используются в учебном процессе кафедры «Технология и оборудование литейного производства» Донбасской государственной машиностроительной академии, кафедры «Общеинженерные дисциплины» Украинской инженерно-педагогической академии.

Практические рекомендации, приведенные в данной работе, внедрены в условиях производства строительных изделий на базе ООО „ПТК Велес” (г. Славянск) для упрочнения деталей пресс-форм прессов КРПК-125 и ДО-443. По результатам промышленных испытаний подтверждена возможность повышения срока службы деталей пресс-форм, снижения затрат на их изготовление за счет снижения энергозатрат и замены инструментальной стали У8 на конструкционную сталь Ст.3. Фактический годовой экономический эффект для условий ООО „ПТК Велес” составляет 60287 грн.

Личный вклад соискателя. Все научные положения диссертационной работы, которые выносятся на защиту, разработаны автором лично. Автору принадлежит: обоснование цели, определение структуры и фазового состава и свойств полученных поверхностных В-Ti-Al слоев, обработка результатов и их анализ, изготовление исследовательских образцов и проведение экспериментальных исследований, участие в проведении производственных испытаний. Результаты исследований опубликованы в открытой печати. Конкретный личный вклад соискателя в этих работах дан в виде кратких аннотаций после указания их номеров в списке опубликованных работ по теме диссертации.

Апробация результатов работы. Результаты диссертационной работы опубликованы и обсуждены на международных и региональных научно-технических конференциях:

II, III, IV Международной научно-технической конференции «Важке машинобудування, проблеми та перспективи розвитку» (г. Краматорск, 2004, 2005, 2006 г.); 6 Уральской школе-семинаре металловедов - молодых ученых (г. Екатеринбург, РФ 2004 г.); Республиканской научно-методической конференции «Современные проблемы сварки, наплавки и материаловедения» (г. Мариуполь, 2005 г.); 6 Международном научно-техническом семинаре «Современные проблемы подготовки производства, заготовительного производства, обработки и сборки в машиностроении и приборостроении» (г. Свалява, Карпаты 2006 г.); Первой международной научно-технической конференции молодых специалистов «Азовмаш 2006» (г. Мариуполь, 2006 г.); II Международной научно-практической конференции «Научный прогресс на рубеже тысячелетий – 2007» (г. Днепропетровск).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы изложены в 8 печатных работах, в том числе 2 статьях в научных журналах, 4 статьях в сборниках научных трудов и 2 тезисах докладов. Все 6 статей опубликованы в специализированных изданиях ВАК Украины.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, шести разделов, выводов, списка использованных источников (110 наименований), 1 приложения. Полный объем диссертации – 169 страниц, общий объем – 140. В разделах диссертации 72 рисунка (в том числе 2 на отдельных страницах) и 15 таблиц (в том числе 1 на отдельной странице).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первый раздел «Современное состояние задачи получения и тенденции использования покрытий, содержащих бор, титан и алюминий». Проанализирована информация по применению насыщения изделий бором, титаном и алюминием в промышленности.

Отмечено, что из известных методов насыщения, наиболее простым и доступным является метод насыщения в порошковых смесях, поскольку он не требует специального оборудования и является наиболее экологически-безопасным. Весьма широко распространенным является однокомпонентное насыщение (борирование, титанирование, алитирование), менее распространено последовательное или одновременное насыщение двумя компонентами (боротитанирование, бороалититрование, титаноалитирование). Перспективным является способ одновременного насыщения тремя компонентами (боротитаноалитирование), поскольку именно такое насыщение может обеспечить повышение целого комплекса свойств при энергосберегающем одноразовом нагреве. Однако в промышленности такой способ не нашел применения, поскольку в литературе отсутствуют системные данные о закономерностях формирования поверхностных слоев, влиянии структуры поверхностного слоя на износостойкость изделий, а также о возможности проведения последующей термообработки. На основе обзора сформулирована цель экспериментального исследования.

Второй раздел «Материалы и методы исследования». Представлена методика выполнения экспериментов и применяемые материалы. Приведены составы использованных материалов, описана методика проведения диффузионного боротитаноалитирования в порошковых смесях, методы исследования структуры и свойств боротитаноалитированных слоев. Для исследований использовали сталь 10, сталь Ст. 3, сталь 45, сталь У13. В качестве составляющих насыщающих смесей применяли порошки карбида бора B_4C , алюминия Al , ферротитана $FeTi$, титана Ti , окиси алюминия Al_2O_3 хлористого натрия $NaCl$, криолита Na_3AlF_6 , флюорита CaF_2 , хлористого аммония NH_4Cl . Подробные составы смесей приведены в разделах диссертации. Цель и поставленные в работе задачи обусловили проведение исследований структуры и фазового состава поверхностных слоев после боротитаноалитирования, исследований абразивной износостойкости полученных боротитаноалитированных слоев, исследований влияния закалки в воде на состояние поверхностных слоев и основного металла, проведение оптимизации режимов боротитаноалитирования. В работе был применен металлографический метод исследований с помощью микроскопа МИМ-8М. Микроструктуру выявляли, используя химическое травление в 4-х %-ном растворе азотной кислоты HNO_3 в этиловом спирте, а также тепловое травление. Тепловое травление позволило определить места расположения фаз в структуре благодаря появлению цветной окраски. Также для выявления фаз, присутствующих в боротитаноалитированном слое, в работе применен метод рентгеноструктурного анализа на установке ДРОН-3М, с применением железного $Fe\ k_{\alpha,\beta}$ нефльтрованного излучения. Изучали фазовый состав на шлифах, полученных после сошлифовки поверхностного слоя на определенную глубину. Микротвердость фаз измеряли с помощью прибора ПМТ-3 с нагрузкой на индентор в 1 Н и 0,2 Н. Для опре-

деления размеров структурных составляющих поверхностных слоев использовали планиметрический метод количественной металлографии. Испытания на абразивный износ проводили путем трения упрочненных образцов о закрепленные абразивные частицы. Математическое планирование эксперимента и обработку результатов исследований проводили с использованием метода симплексных решеток, разработанного для изучения свойств и оптимизации состава многокомпонентных смесей.

Третий раздел «Особенности формирования поверхностных слоев при многокомпонентном насыщении В, Ti и Al». В этом разделе исследованы особенности формирования поверхностных слоев при многокомпонентном насыщении В, Ti и Al.

В зависимости от состава насыщающей смеси (0...25% порошка Al, 0...25% порошка FeTi, 0...25% порошка B_4C , постоянное количество активатора 7% NaCl, остальное - порошок Al_2O_3) при одновременном насыщении малоуглеродистой стали 10 В, Ti и Al при температуре $1000^\circ C$ в течение 5 ч., возможно получение четырех типов поверхностных слоев (рис. 1).

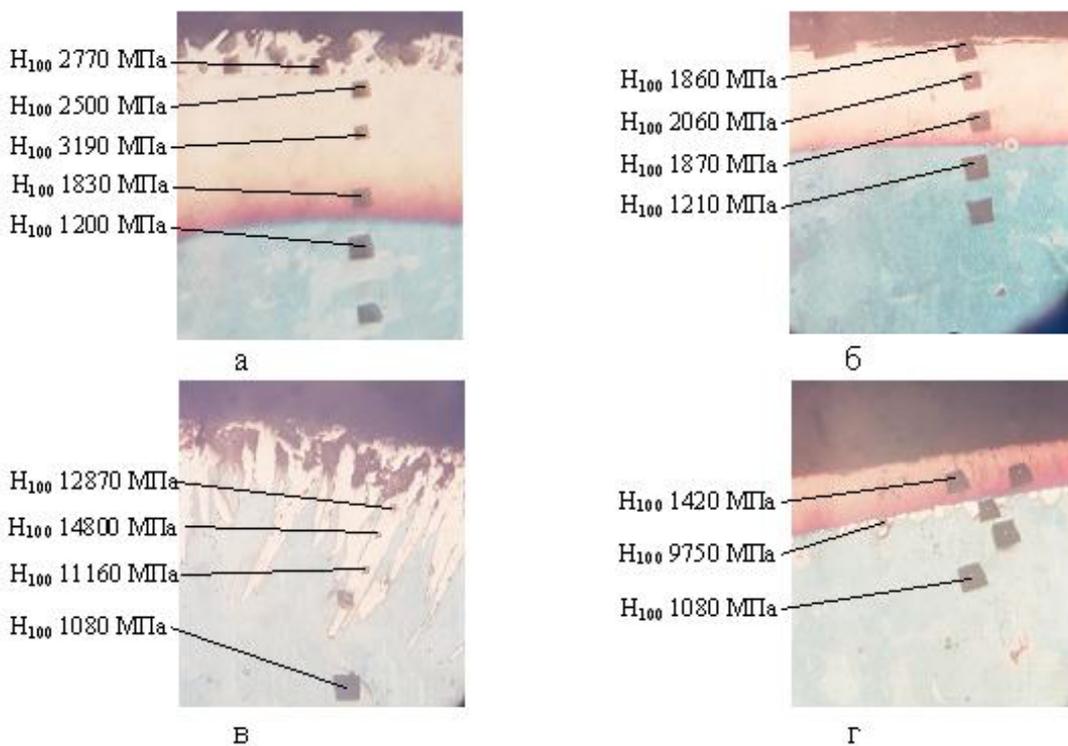


Рис. 1. Характерные структуры поверхностных слоев, полученные комплексным насыщением бором, титаном и алюминием стали 10, $\times 100$

Первый тип слоя имеет двухзонную структуру (см. рис. 1, а). На поверхности слоя расположен хрупкий интерметаллид, а на границе с основным металлом находится зона твердого раствора В, Ti и Al в α -железе. Такой слой образуется в результате боротитаноалитирования в смесях, в составе которых преобладает алюминий (12...25% порошка Al). Микротвердость такого слоя низкая, поэтому использовать его для повышения износостойкости нецелесообразно.

Если в насыщающей смеси имеется значительное количество титана (18...25% порошка FeTi), то образуется слой второго типа (см. рис. 1, б), представляющий собой твердый раствор бора, титана и алюминия в α -железе. Основное отличие от слоя

первого типа - отсутствие интерметаллида. При преобладании в составе смеси карбида бора и минимальном количестве ферротитана и алюминия (17...23% порошка B_4C , 1...7% порошка $FeTi$, 1...3% порошка Al), образуется слой третьего типа, представляющий собой слой боридов железа, легированных титаном и алюминием (см. рис. 1, в). Такой слой имеет высокие значения микротвердости, что может свидетельствовать о высокой износостойкости, однако низкая пластичность таких слоев может вызвать их растрескивание при значительных рабочих нагрузках или при последующей упрочняющей термообработке. Чтобы избежать этого, структура слоя должна представлять собой отдельные бориды, которые бы находились в окружении твердого раствора. Слой такого типа можно получить путем боротитаноалитирования в смеси с определенным соотношением насыщающих компонентов (10...15% порошка B_4C , 10...15% порошка $FeTi$, 1...6% порошка Al) (см. рис. 1, г).

На основании проведенных исследований, используя симплекс-решетчатый метод статистической обработки данных, было получено уравнение, характеризующее зависимость процентного содержания боридной фазы в поверхностном диффузионном слое от соотношения компонентов в насыщающей смеси при боротитаноалитировании стали 10 (1).

$$y = 24,929x_1 + 0,056x_3 - 49,419x_1x_2 - 43,366x_1x_3 + 1,652x_2x_3 - 61,645x_1x_2(x_1 - x_2) + \\ + 37,362x_1x_3(x_1 - x_3) - 1,966x_2x_3(x_2 - x_3) - 57,379x_1x_2(x_1 - x_2)^2 + 130,701x_1x_3(x_1 - x_3)^2 - \\ - 2,97x_2x_3(x_2 - x_3)^2 - 204,336x_1^2x_2x_3 + 3,912x_1x_2^2x_3 + 291,096x_1x_2x_3^2 . \quad (1)$$

Также получили уравнения, которые характеризуют зависимость процентного содержания фазы твердого раствора в поверхностном диффузионном слое, а также его глубины от соотношения компонентов в смеси.

Используя уравнение (1), была построена диаграмма, характеризующая закономерности изменения процентного содержания боридной фазы в поверхностном диффузионном слое от соотношения компонентов в смеси для насыщения при боротитаноалитировании стали 10 (рис. 2).

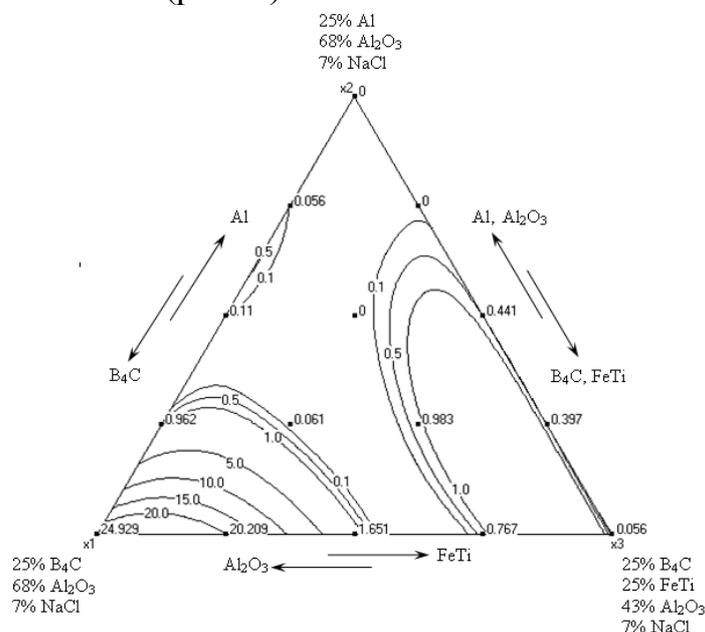


Рис. 2. Закономерности изменения процентного содержания боридной фазы в зависимости от состава насыщающей смеси при боротитаноалитировании стали 10

Аналогично были построены диаграммы, которые отображают закономерности изменения процентного содержания фазы твердого раствора и глубины слоя от соотношения насыщающих компонентов в смеси. При помощи данных диаграмм можно выбрать оптимальный состав смеси для получения структуры слоя с необходимым соотношением твердой и мягкой составляющей и требуемой глубиной.

В этом разделе были также уточнены особенности структурообразования в поверхностном слое стали 10 при насыщении в порошковых смесях в зависимости от типа активатора. Показано, что как активаторы процесса целесообразно использовать галогениды фтора, которые содержат алюминий. Использование в качестве активатора при титанировании стали 10 криолита (Na_3AlF_6) позволило на 0,05 мм увеличить глубину диффузионного слоя по сравнению с использованием флюорита (CaF_2) и на 0,08...0,1 мм по сравнению с использованием хлористого натрия (NaCl). Это объясняется тем, что алюминий оттесняет углерод с поверхности и обеспечивает получение слоев большей глубины.

Четвертый раздел «Исследование структурных превращений при боротитаноалитировании углеродистых сталей в порошковых смесях». В этом разделе исследованы структурные превращения при боротитаноалитировании углеродистых сталей в порошковых смесях.

Исследования структурных превращений в зависимости от температуры боротитаноалитирования проводили на образцах из стали Ст.3 в интервале температур 800... 1050°C через каждые 50°C с выдержкой 5 ч. в смеси, содержащей 36% FeTi, 24% B_4C , 33% Al_2O_3 и 7% Na_3AlF_6 .

В результате был предложен механизм образования структур, который заключается в следующем. Сначала, при боротитаноалитировании до температуры 900°C, на поверхности образуются твердый раствор замещения Ti в Fe_α . Зерна этого раствора растут в направлении от поверхности до середины образца, принимая при этом удлиненную или столбчатую форму. По линейным границам этих зерен легко проходит диффузия бора. Проходя по границам зерен твердого раствора, бор не вступает в реакцию с железом, возможно из-за высокого уровня энергии активации, необходимой для обособления атомов железа в кристаллической решетке твердого раствора. Продиффундировав через твердый раствор, бор попадает в среду Fe_γ , от которой он легко отбирает количество железа, необходимое для образования боридов Fe_2B . Они образуются в основном металле при пересечении границ твердого раствора, который содержит титан. Сначала образуются бориды Fe_2B , поскольку имеется достаточное количество атомов железа. После образования зародышей боридов, дальнейшее распространение вновь поступающих атомов бора проходит по границам между ранее образованными частицами боридов и основным металлом. Такой контакт приводит к росту частиц боридов по всем направлениям. После касания боковых поверхностей, рост проходит в направлении роста боридов Fe_2B игольчатой формы. Появление боридов Fe_2B игольчатой формы является результатом однонаправленного роста боридов в зоне основного металла.

Было установлено, что замена ферротитана в насыщающей смеси порошком титана приводит к образованию структуры, представляющей собой слой боридов на поверхности металла, внутри - зону твердого раствора и слой боридов на границе с основным металлом. Этот слой с указанной структурой дополнительно исследовали

с помощью послойного рентгеноструктурного анализа.

В результате проведения рентгеноструктурного анализа выяснилось, что в верхней части слоя содержатся бориды титана и железа. В нижней части, в основном - бориды железа. Твердый раствор титана в α -железе распространяется на всю глубину слоя. Характер изменения микротвердости твердого раствора по глубине от поверхности до основного металла указывает на переменное содержание титана по глубине слоя, а именно, больше у поверхности и значительно меньше - на границе с основным металлом. Этот характер насыщения подтверждается результатами исследования параметра кристаллической решетки твердого раствора по глубине слоя. По мере увеличения глубины слоя параметр решетки твердого раствора уменьшается. Это можно объяснить уменьшением содержания титана в твердом растворе по мере увеличения глубины слоя.

Исследования структурных превращений в зависимости от длительности выдержки при боротитаноалитировании проводили на образцах из стали Ст.3 при температуре 1000°C с выдержкой 1, 3, 5 и 7 ч. в смеси, содержащей 36% Ti, 24% B_4C , 33% Al_2O_3 и 7% Na_3AlF_6 .

Установлено, что общая глубина слоя значительно увеличивается при длительности выдержки 3 ч и составляет 20,5% от общей площади анализа. При дальнейшем увеличении длительности выдержки от 3 до 7 ч. общая площадь, занимаемая слоем, увеличивается незначительно (на 1,3% от общей площади анализа). При этом происходит увеличение количества боридной фазы (от 2 до 9 % общей площади анализа) за счет уменьшения количества твердого раствора (с 18,5 до 15,8%). Увеличение количества боридной фазы объясняется высокой насыщающей способностью карбида бора. Полученные данные указывают на возможность управления формированием структуры поверхностного слоя при насыщении изделий бором, титаном и алюминием путем регулирования температуры насыщения и времени выдержки.

В четвертом разделе также проводились исследования структурных превращений в зависимости от последовательности проведения процессов насыщения. Результаты исследований представлены на рис. 3.

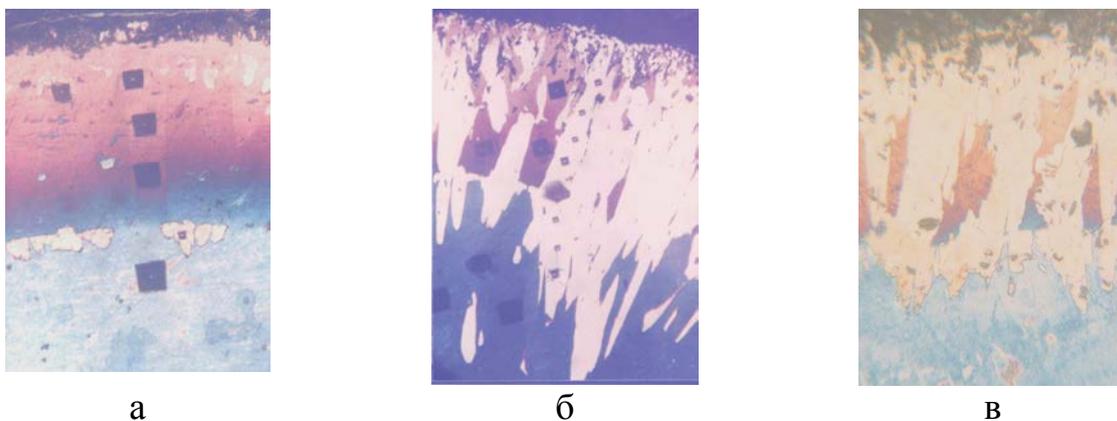


Рис. 3. Микроструктура поверхностных слоев, полученных в результате последовательного насыщения стали Ст.3, $\times 100$

Насыщение проводили по таким последовательностям: титанирование + борирование (рис. 3, а), борирование + титанирование (рис. 3, б), боротитанирование +

борирование (рис. 3, в).

Анализируя структуры, приведенные на рис. 3, можно заключить, что из проведенных последовательных режимов насыщения, наиболее эффективно повысить износостойкость можно, применив последовательное боротитанирование + борирование (см. рис. 3, в). В этом случае слой состоит из каркаса боридов, в середине которых располагается твердый раствор светло-коричневого цвета после теплового травления. Важным признаком боридов, полученных вследствие такого насыщения, является их практически одинаковая толщина в пределах слоя твердого раствора. Это означает, что полученный слой будет иметь необходимую износостойкость на значительный срок. Этого эффекта невозможно достичь применением обычного борирования, когда бориды имеют игольчатую форму.

Общим недостатком процесса насыщения изделий в порошковых смесях является низкая микротвердость основного металла, полученная в результате длительной выдержки при высоких температурах насыщения и медленного охлаждения контейнера с печью. Для устранения этого недостатка после насыщения дополнительно назначают закалку.

Пятый раздел «Исследование превращений при термической обработке сталей после боротитаноалитирования». В этом разделе было исследовано влияние термической обработки сталей после боротитаноалитирования на макро и микроструктуру поверхностного слоя и основного металла. Для сравнения также проводились исследования на образцах, подвергнутых борированию и последовательному борированию и титанированию. Результаты представлены на рис. 4 и 5.

Поверхность борированного образца из стали 45 с микроструктурой, представляющей собой сплошной слой боридов железа после закалки и низкого отпуска (по стандартной технологии) была покрыта сетью трещин (рис. 4, а).

На поверхности образца из стали 45, подвергнутого последовательному борированию и титанированию, структура слоя которого состояла из боридов железа, находящихся в твердом растворе, после закалки также имелись трещины, однако их было меньше и они распространялись прерывисто (см. рис. 4, б). На поверхности образца, подвергнутого комплексному боротитаноалитированию, после закалки трещины вообще отсутствовали (см. рис. 4, в).

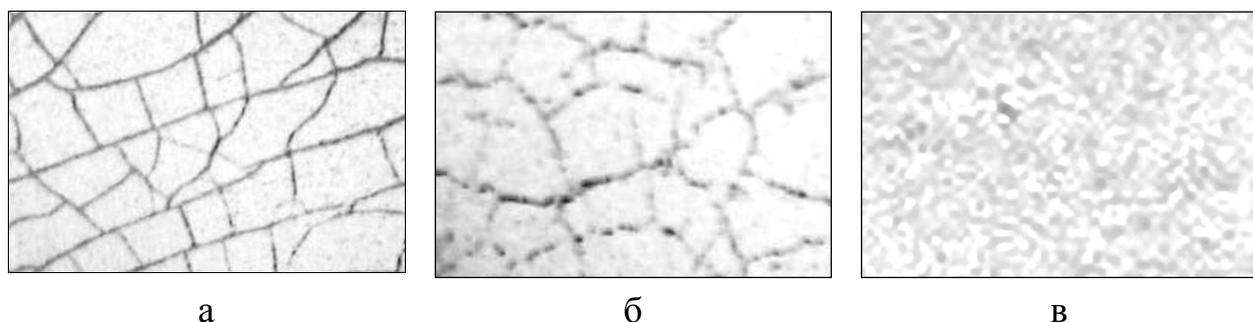


Рис. 4. Состояние поверхности закаленной и низкоотпущенной стали 45, предварительно подвергнутой борированию, (а), последовательному борированию и титанированию (б), комплексному боротитаноалитированию (в), $\times 5$

Был предложен следующий механизм образования сетки трещин. В процессе закалки происходит сужение поверхностного слоя боридов, который расширился

при нагреве под закалку. Первоначально сужение начинается в каких-то местах, которые можно назвать центрами сужения (аналогично понятию центра кристаллизации). Затем в процесс сужения вовлекаются близлежащие участки боридного покрытия, которые сужаются в направлении центров. Сужение к каждому центру происходит до тех пор, пока слой пластичен. Потеря пластичности в процессе охлаждения приводит к тому, что на определенном расстоянии от соседних центров создаются растягивающие напряжения, которые превышают прочность слоя и приводят к образованию трещин. Едва образовавшись, трещины в хрупком слое распространяются прямолинейно. Зарождение трещин от большого количества центров приводит к образованию сетки, многие ячейки которой имеют практически прямые углы в местах пересечения трещин. При наличии на поверхности образцов слоя, состоящего из боридов и твердого раствора, трещины после закалки также образуются, однако они не являются сплошными (см. рис. 4, б), их границы наблюдаются лишь в местах расположения боридов.

Для определения характера распространения трещин исследовали микроструктуру поверхности образцов в местах образования трещин.

Из рис. 5, а видно, что в боридном слое трещины, не находя препятствий, распространяются по всей длине образца. Это связано с монолитностью и высокой хрупкостью слоя.

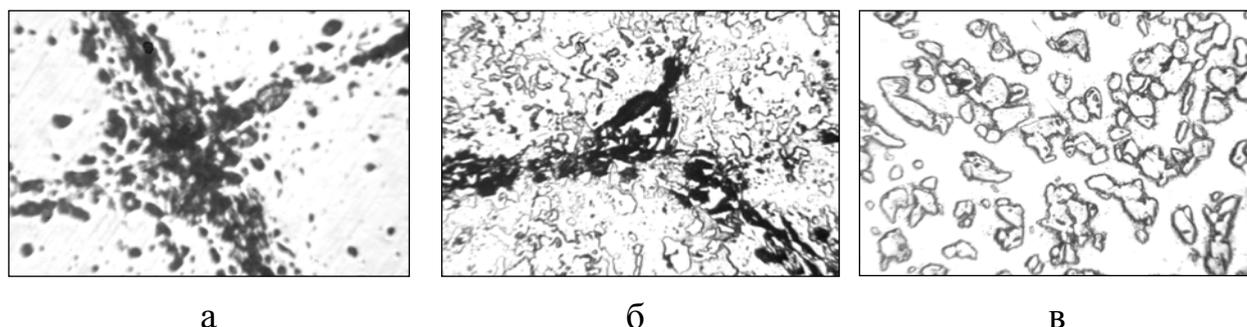


Рис. 5. Состояние поверхности закаленной и низкоотпущенной стали 45, предварительно подвергнутой борированию, (а), последовательному борированию и титанированию (б), комплексному боротитаноалитированию (в), $\times 100$

Микроструктура поверхности образца, подвергнутого последовательному борированию и титанированию, представляет собой участки боридов, разделенные между собой твердым раствором бора и титана в железе. В данном случае трещины возникают только в пределах крупных боридных участков (см. рис. 5, б).

Твердый раствор является мягкой составляющей и тормозит дальнейшее распространение трещин. Возникновение трещин, несмотря на наличие мягкой составляющей, можно объяснить относительно большими размерами и неоднородностью распределения боридных частиц.

После комплексного боротитаноалитирования микроструктура поверхностного слоя состоит из твердого раствора бора, титана и алюминия, под которым, на границе с основным металлом, располагается цепочка боридов железа. В этом случае бориды железа имеют более округлую форму и более равномерно распределяются по площади образца. Следует также отметить, что в процессе термической обработки эти бориды находятся под слоем твердого раствора, который предохраняет их от

окисления при высоких температурах, а также препятствует образованию трещин. После удаления слоя твердого раствора микроструктура поверхности образца представляет собой отдельные частицы боридов железа округлой формы, расположенные частично в окружении твердого раствора, а частично - основного металла (см. рис. 5, в), что будет обеспечивать, с одной стороны высокую износостойкость, а с другой - удовлетворительную пластичность. Трещины в данном случае не образуются.

Для определения влияния типа поверхностного слоя на восприятие упрочняющей термической обработки основным металлом изучали микроструктуру и микротвердость основного металла. Во всех трех случаях основной металл образцов из стали 45 имеет одинаковую микротвердость в пределах H_{20} 4900... 4600 МПа

Шестой раздел «Совершенствование путей и технологий нанесения комплексных покрытий на основе бора, титана и алюминия для изделий различного назначения». Рассмотрены особенности абразивного износа комплексных покрытий, полученных путем насыщения изделий бором, титаном и алюминием, а также возможности практического использования процессов боротитаноалитирования в промышленности.

Испытаниям на абразивную износостойкость подвергали покрытия после комплексного насыщения бором, титаном и алюминием, микроструктура которых представляет собой отдельные иглы боридов железа, расположенные в окружении твердого раствора бора, титана и алюминия в α -железе (рис. 6, а).

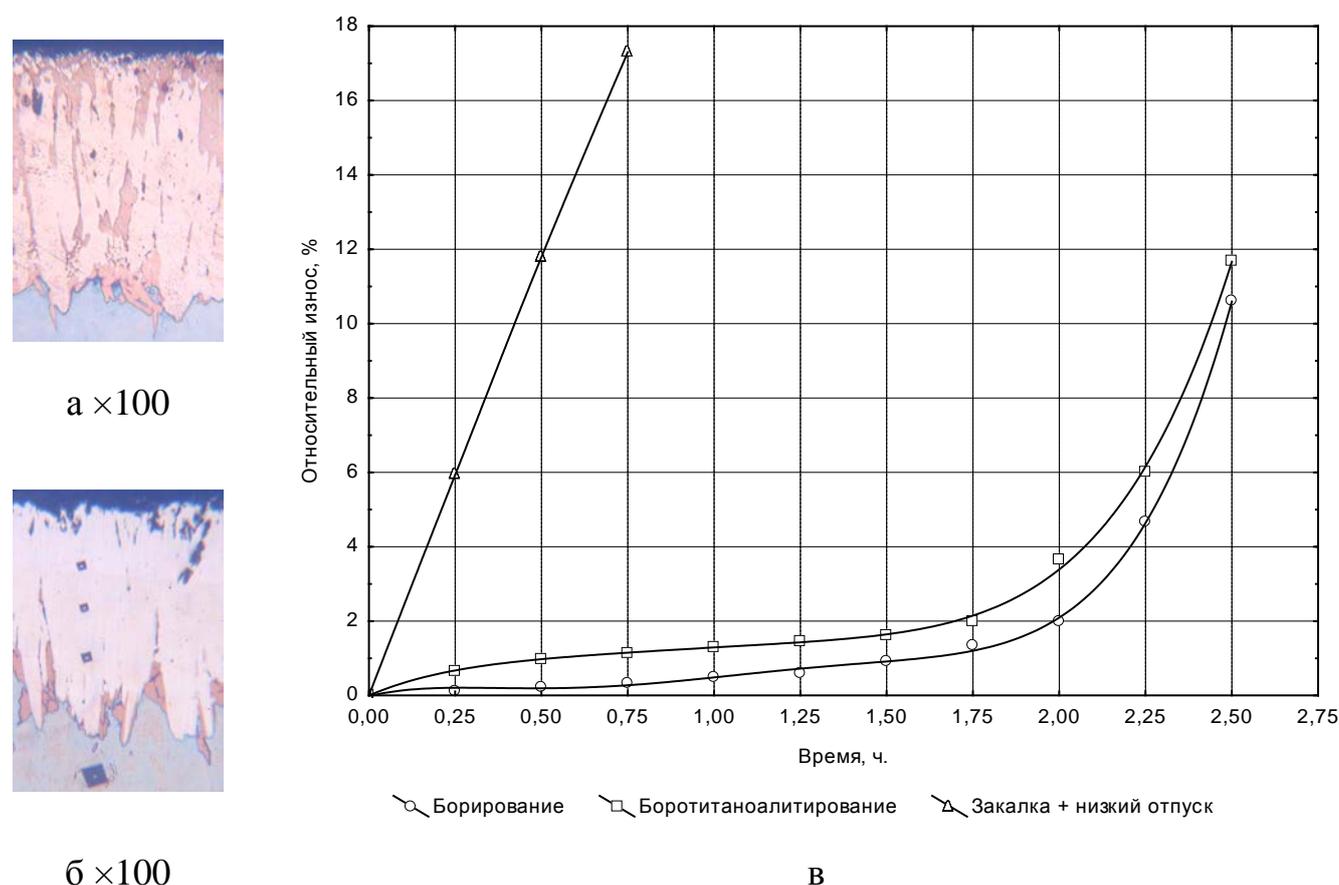


Рис. 6. Микроструктура и износостойкость поверхностного слоя стали 45, подвергнутой последовательному боротитаноалитированию (а), борированию (б)

Для сравнения таким же испытаниям были подвергнуты образцы после борирования, микроструктура которых представляет собой слой боридов железа (см. рис. 6, б), а также образцы после закалки и низкого отпуска с твердостью 56...58 HRC. Результаты испытаний представлены на рис. 6, в.

Как видно из приведенных данных, за 1 час испытаний относительный износ слоя, который состоит из игл боридов в окружении твердого раствора, на 0,8% выше, чем относительный износ боридного слоя, однако он на 22% ниже относительного износа стали 45, подвергнутой закалке с низким отпуском. Учитывая, что такое покрытие является менее хрупким за счет того, что твердые, но хрупкие бориды не являются монолитным слоем, а разделены мягким и пластичным твердым раствором, можно сделать вывод, что его целесообразно применять для упрочнения изделий, работающих в условиях ударно-абразивного износа.

Поскольку износостойкость зависит от фазового состава контактирующих пар, сцепляемости фаз с матрицей, также проводилось исследование состояния покрытий в зоне износа. Было установлено, что различное структурное строение покрытий влияет на состояние поверхности в зоне абразивного износа.

Боридное покрытие на стали Ст. 3 в зоне абразивного износа (рис. 7, а) представляет собой поверхность с значительным количеством вырывов, что объясняется высокой хрупкостью боридного слоя и его монолитностью.

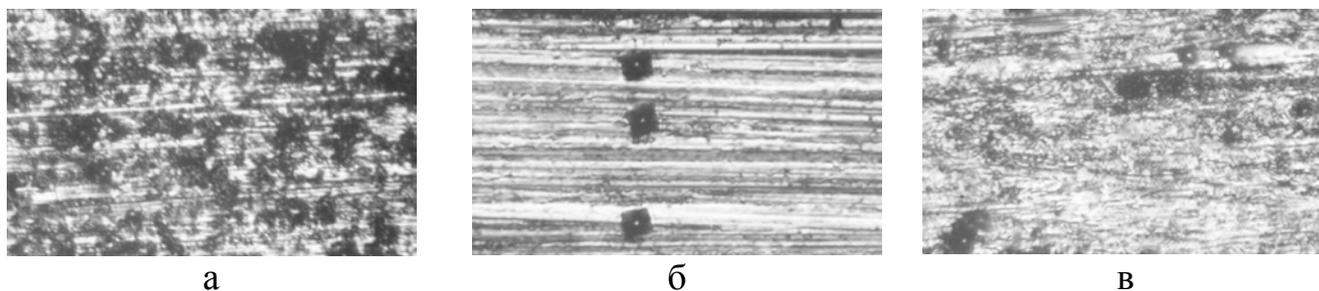


Рис. 7. Состояние борированных (а), боротитанированных (б), последовательно боротитанированных и борированных (в) покрытий на стали Ст. 3 в зоне абразивного износа, $\times 100$

Поверхность боротитанированного слоя в зоне абразивного износа (см. рис. 7, б) состоит из выдавленных царапин, образующихся в результате пластической деформации материала без разрушений, и гладких вырезанных царапин, сопровождающихся отделением тончайшей стружки, причиной появления которых является пластическая деформация с разрушением. Это свидетельствует о высокой пластичности слоя и его низкой твердости и износостойкости. После комплексного боротитанирования и борирования, слой в зоне абразивного износа имеет более гладкую (по сравнению с борированной) поверхность с меньшим на 81% количеством вырывов (см. рис. 7, в). Это вызвано особенностью строения поверхностного слоя, который представляет собой отдельные иглы боридов, имеющие высокую твердость и обеспечивающие высокую износостойкость, расположенные в мягкой основе твердого раствора бора и титана в железе. Наличие между иглами боридов твердого раствора препятствует развитию опережающей трещины (как в случае с борированием) и тем самым локализует процесс хрупкого отрыва в пределах одной боридной иглы. Поскольку твердый раствор обладает высокой пластичностью, то его наличие между

иглами боридов на 61,3% уменьшает микрохрупкость поверхностного слоя по сравнению с боридным, что положительно сказывается на состоянии поверхности слоя в зоне абразивного износа.

В шестом разделе указывается, что восстановление частично изношенных изделий, подвергнутых химико-термической обработке, можно проводить, используя в качестве наплавочных материалов обычные малоуглеродистые стали с последующей повторной химико-термической обработкой. Установлено, что в результате наплавки на поверхности изделий с частично изношенным покрытием образовывается слой с мелкозернистой структурой, микротвердость которой на H_{100} 900...1000 МПа выше микротвердости основного металла. Последующее насыщение наплавленного металла обеспечивает получение диффузионного слоя с равномерной толщиной без выраженной игловидной структуры, что обеспечит равномерную износостойкость по всей глубине диффузного слоя. После наплавки в этом случае затруднений с механической обработкой нет, а в процессе повторной ХТО происходит снятие внутренних напряжений, возникших в процессе наплавки. Эта техническая идеология применяется во многих случаях, однако неизвестно ее применение для восстановления поверхности изделий, подвергнутых борированию, тем более боротитаноалитированию.

В этом разделе также дано обоснование области эффективного использования процессов насыщения сталей В, Ti и Al в порошковых смесях.

Тип слоя со структурой, представляющей собой иглы боридов, которые располагаются на поверхности среди твердого раствора, распространяются в зоне твердого раствора и переходят в основной металл был предложен для промышленного использования с целью упрочнения деталей пресс-форм прессов КРПК-125 и ДО-443 для изготовления строительных изделий. Применение данного метода позволило в качестве материала для пресс-формы использовать конструкционную сталь Ст. 3 взамен инструментальной У8. Изделия, упрочненные по предложенному способу, прошли промышленные испытания в условиях ООО „ПТК Велес”. Как результат - износостойкость деталей пресс-форм повысилась в 4 раза, о чем свидетельствует акт внедрения в производство. Фактический годовой экономический эффект для условий ООО „ПТК Велес” составляет 60287 грн.

ВЫВОДЫ

В диссертации решена актуальная научно-техническая задача совершенствования процессов комплексного насыщения углеродистых конструкционных сталей бором, титаном и алюминием для получения новых типов износостойких покрытий, имеющих низкую хрупкость и не растрескивающихся при закалке, путем изменения состава насыщающей смеси, последовательности и температурно-временных параметров насыщения при химико-термической обработке в порошковых смесях.

Основные научные положения и практические результаты работы заключаются в следующем.

1. В результате анализа литературных источников выяснено, что многокомпонентное насыщение является более перспективным, чем однокомпонентное, по-

сколькo позволяет изменять структуру и свойства поверхностных слоев в широких пределах при энергосберегающем одноразовом комплексном насыщении всеми компонентами. Однако возможности практического применения комплексного насыщения сталей бором, титаном и алюминием реализованы не в полной мере из-за отсутствия системных данных о закономерностях формирования поверхностных слоев в зависимости от типа и соотношения насыщающих компонентов, активаторов процесса, температуры насыщения. Не изучена также возможность проведения закалки. В связи с этим, актуальной является необходимость оценки влияния соотношения компонентов в насыщающей смеси и температуры процесса на формирование структуры поверхностного слоя на углеродистых сталях и его износостойкость, а также оценки влияния закалки на состояние поверхности и совершенствование методов комплексного насыщения изделий бором, титаном и алюминием.

2. Установлено, что при комплексном одновременном боротитаноалитировании структура поверхностного слоя может состоять из боридов, твердого раствора или из их совокупности. Наличие титана и алюминия в насыщающей смеси приводит к образованию твердого раствора бора, титана и алюминия в железе и замедляет образование боридов железа, причем алюминий в 2 раза сильнее, чем титан, препятствует образованию боридов железа. Для получения структуры, состоящей из боридов железа и твердого раствора соотношение карбида бора, ферротитана и алюминия в смеси должно составлять 7:2:1 соответственно.

3. Установлена последовательность, с которой насыщающие элементы принимают участие в формировании поверхностного слоя стали Ст. 3 в зависимости от температуры процесса при одновременном насыщении В, Ti и Al. Показано, что в интервале температур 800-850°C происходит насыщение алюминием, который оттесняет углерод из поверхности вглубь основного металла. При повышении температуры до 900°C в насыщении, кроме алюминия, принимает участие титан, образуя твердый раствор титана в α -железе. При дальнейшем повышении температуры по границам зерен твердого раствора происходит диффузия бора, который образует бориды железа на границе с основным металлом.

4. Установлено влияние длительности процесса насыщения на формирование диффузионного поверхностного слоя. Показано, что общая глубина слоя значительно увеличивается при длительности выдержки 3 ч и составляет 20,5% от общей площади анализа. При дальнейшем увеличении длительности выдержки от 3 до 7 ч. общая площадь, занимаемая слоем, увеличивается незначительно (на 1,3% от общей площади анализа). При этом происходит увеличение количества боридной фазы (от 2 до 9 % общей площади анализа) за счет уменьшения количества твердого раствора (с 18,5 до 15,8%). Увеличение боридной фазы объясняется высокой насыщающей способностью карбида бора. Полученные данные указывают на возможность управления формированием структуры поверхностного слоя при насыщении изделий бором, титаном и алюминием путем регулирования температуры насыщения и времени выдержки.

5. Уточнены особенности структурообразования в поверхностном слое стали 10 при насыщении в порошковых смесях в зависимости от типа активатора. Показано, что как активаторы процесса целесообразно использовать галогениды фтора, которые содержат алюминий. Использование в качестве активатора при титанирова-

нии стали 10 криолита (Na_3AlF_6) позволило на 0,05 мм увеличить глубину диффузионного слоя по сравнению с использованием флюорита (CaF_2) и на 0,08...0,1 мм по сравнению с использованием хлористого натрия (NaCl). Это объясняется тем, что алюминий оттесняет углерод с поверхности и обеспечивает получение слоев большей глубины.

6. Впервые показано, что использование последовательно процессов боротитанирования и борирования, в отличие от известного процесса последовательного титанирования и борирования, приводит к образованию боридов по границам зерен слоя твердого раствора, которые проникают через этот слой к основному металлу. Отличительной чертой этих боридов является отсутствие уменьшения толщины по мере их роста от поверхности к основному металлу в пределах слоя твердого раствора. Такое строение слоя обеспечит равномерный износ его по всей глубине. В связи с этим, использование такого покрытия является более целесообразным в сравнении с иглообразным борированным покрытием.

7. Установлено, что в процессе закалки в воде образование трещин в диффузионном слое происходит в пределах боридов, расположенных на поверхности. Это происходит в результате появления центров сужения при охлаждении, дальнейшем сужении участков слоя в направлении к этим центрам и, в связи с потерей пластичности при охлаждении, создании на поверхности напряжений растяжения. Показано, что поверхностный слой, представляющий собой бориды железа и твердый раствор в соотношении 1:1 после закалки имеет на 50.6% меньше трещин, чем сплошной боридный. Впервые показано, что бориды, находящиеся под слоем твердого раствора, при закалке в воде не растрескиваются. Наличие слоя твердого раствора над слоем боридов будет также защищать их от окисления при нагревании. Обеспечить получение такой структуры может процесс комплексного боротитаноалитирования, в связи с чем этот процесс более целесообразно использовать для упрочнения изделий, дополнительно подвергаемых закалке, по сравнению с борированием.

8. Определен характер изменения абразивной износостойкости покрытий в зависимости от структуры поверхностного слоя. Установлено, что за 1 час испытаний относительный износ слоя, который состоит из игл боридов в окружении твердого раствора, на 0,8% выше, чем относительный износ боридного слоя, однако он на 22% ниже относительного износа стали 45, подвергнутой закалке с низким отпускком. Поверхность данного слоя в зоне абразивного износа имеет на 81% меньше вырывов, в сравнении с поверхностью боридного слоя, что объясняется замедлением распространения трещин из-за последовательного чередования твердой и мягкой составляющей. Микрохрупкость такого слоя на 61,3% меньше, чем у боридного. В связи с этим такой поверхностный слой будет лучше обрабатываться шлифованием, чем боридный слой, и может быть использован для упрочнения изделий, работающих в условиях ударно-абразивного износа.

9. Исследована возможность восстановления частично изношенных поверхностных слоев, полученных насыщением бором, титаном и алюминием с помощью наплавки и повторного насыщения. Установлено, что в результате наплавки на поверхности изделий с частично изношенным покрытием образовывается слой с мелкозернистой структурой, микротвердость которой на H_{100} 900...1000 МПа выше микротвердости основного металла. Последующее насыщение наплавленного ме-

талла обеспечивает получение диффузионного слоя с равномерной толщиной без выраженной игловидной структуры, что обеспечит равномерную износостойкость по всей глубине диффузного слоя.

10. На основании проведенных исследований дано обоснование использования процессов насыщения сталей В, Ti и Al в порошковых смесях для поверхностного упрочнения широкого ряда изделий: обувных резаков, ленточных ножей, калибров, а также изделий, работающих в условиях абразивного и ударно-абразивного износа (детали пресс-форм).

11. Предложен способ упрочнения деталей пресс-форм прессов КРПК-125 и ДО-443 для изготовления строительных деталей путем насыщения бором, титаном и алюминием, в результате чего появилась возможность замены инструментальной стали У8 конструкционной сталью Ст. 3 с увеличением стойкости в 4 раза. Фактический годовой экономический эффект от внедрения данного способа упрочнения в условиях ООО „ПТК Велес” (г. Славянск) составляет 60287 грн.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Заблоцкий В.К. Покрытия на основе В, Ti и Al для повышения стойкости режущего инструмента / В. К. Заблоцкий , А. В. Лапченко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : Зб. наук. пр. – Краматорськ, 2004, – №16 – С. 77-81

2. Заблоцкий В. К. Повышение износостойкости боридных покрытий режущего и штампового инструмента / В. К. Заблоцкий , А. В. Лапченко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : Зб. наук. пр. – Краматорськ, 2005. –№17. – С. 108-112.

3. Заблоцкий В.К. Структурные превращения при боротитаноалитировании углеродистых сталей в порошковых смесях / В.К. Заблоцкий, А.В. Лапченко // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. - 2006. – №3(5). – С. 71-77

4. Заблоцкий В.К. Особенности формирования диффузионных титановых покрытий на инструментах из углеродистых сталей / В. К. Заблоцкий, А. В. Лапченко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: Зб. наук. пр. – Краматорськ, 2006. – №19.– С. 213-217.

5. Заблоцкий В.К. Особенности абразивного износа комплексных В – Ti – Al покрытий на углеродистых сталях / В. К. Заблоцкий , А. В. Лапченко // Восточно – европейский журнал передовых технологий. – 2006. – №4/1(22). – С. 57-59.

6. Заблоцкий В.К. Влияние упрочняющей термической обработки на структуру комплексных В – Ti – Al покрытий на углеродистых сталях / В. К. Заблоцкий , А. В. Лапченко //Восточно-европейский журнал передовых технологий. –2007. – №3/1(27) – С. 71-75.

7. Заблоцкий В.К. Оптимизация процессов комплексного легирования бором, титаном и алюминием при диффузионной металлизации / В.К. Заблоцкий, А.В. Лапченко // II Международная научно-практическая конференция «Научный прогресс на рубеже тысячелетий – 2007». Тезисы докл. – Днепропетровск, 2007. – Т.15. – С. 8-10.

8. Заблоцкий В.К. Абразивный износ В – Ti – Al покрытий на углеродистых сталях / В.К. Заблоцкий, А.В. Лапченко // II Международная научно-практическая конференция «Научный прогресс на рубеже тысячелетий – 2007». Тезисы докл. – Днепропетровск, 2007. – Т.14. – С. 35-37.

Личный вклад соискателя в работах, опубликованных с соавторами:

[1] – выявлены закономерности формирования поверхностных слоев при комплексном боротитаноалитировании углеродистых сталей. Установлены типы поверхностных слоев, образующихся при комплексном насыщении стали 10 бором, титаном и алюминием и влияние каждого из насыщающих компонентов на их формирование; [2] – исследованы особенности формирования поверхностных слоев при последовательном насыщении бором и титаном. Установлено влияние последовательности насыщения на формирование износостойких диффузионных слоев. Получен новый тип поверхностного слоя, имеющий равномерную толщину игл боридов по всей глубине; [3] – выявлено влияние температуры насыщения на формирование поверхностных слоев при боротитаноалитировании. Определена последовательность, с которой элементы начинают принимать участие в насыщении; [4] – исследованы особенности формирования структуры поверхностного слоя углеродистых сталей и чугуна при титанировании в порошковых смесях в зависимости от содержания титана в смеси, типа инертной добавки и активатора. Предложен оптимальный состав для титанирования, обеспечивающий получение карбидного слоя на высокоуглеродистых сталях и белом чугуне; [5] – установлено влияние микроструктуры поверхностных слоев, полученных комплексным боротитаноалитированием, на характер абразивного износа данных покрытий. Показана возможность снижения шероховатости поверхности и улучшения обрабатываемости диффузионных слоев за счет получения структуры, состоящей из твердой и мягкой составляющих; [6] – исследовано влияние закалки в воде на состояние поверхности изделий, предварительно подвергнутых комплексному боротитаноалитированию. Предложен тип поверхностного слоя, не растрескивающегося при закалке углеродистых сталей в воде; [7] – получена математическая модель формирования структуры поверхностного слоя при комплексном насыщении стали 10 бором, титаном и алюминием. Показана возможность управления процессом формирования структуры поверхностного слоя путем изменения процентного соотношения компонентов в насыщающей смеси; [8] – исследована абразивная износостойкость покрытий, полученных насыщением бором, титаном и алюминием.

АНОТАЦІЯ

Лапченко О. В. Удосконалення процесів комплексного насичення бором, титаном і алюмінієм при хіміко-термічній обробці вуглецевих сталей у порошкових сумішах. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.01 – «Металознавство та термічна обробка металів». - Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», м. Донецьк – 2009.

Вирішене актуальне науково-технічне завдання вдосконалювання процесів комплексного насичення вуглецевих конструкційних сталей бором, титаном і алюмінієм для одержання нових типів зносостійких покриттів, що мають низьку крихкість й не розтріскуються при гартуванні, шляхом зміни складу суміші, що насичує, послідовності й температурно-часових параметрів насичення при хіміко-термічній обробці в порошкових сумішах.

Досліджено вплив складу суміші, що насичує, температури та тривалості витримки на формування структури поверхневого шару виробів. Установлено вплив гартування на стан поверхні виробів, попередньо підданих комплексному насиченню бором, титаном і алюмінієм. Встановлена оптимальна структура поверхневого шару після боротитаноалітування, що забезпечує сполучення високої зносостійкості й низької крихкості.

Впроваджено в виробництво спосіб комплексного насичення бором, титаном і алюмінієм для зміцнення прес-форм пресів для виготовлення будівельних деталей. Фактичний річний економічний ефект для умов ТОВ «ПТК Велес» (м. Слов'янськ) становить 60287 грн.

Ключові слова: Дифузійна металізація, комплексне насичення, боротитаноалітування, вуглецеві сталі, поверхневий шар, мікроструктура, абразивна зносостійкість, гартування.

АННОТАЦІЯ

Лапченко А. В. Совершенствование процессов комплексного насыщения бором, титаном и алюминием при химико-термической обработке углеродистых сталей в порошковых смесях. - Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов». – Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», Донецк, 2009.

Решена актуальная научно-техническая задача совершенствования процессов комплексного насыщения углеродистых конструкционных сталей бором, титаном и алюминием для получения новых типов износостойких покрытий, имеющих низкую хрупкость и не растрескивающихся при закалке, путем изменения состава насыщающей смеси, последовательности и температурно-временных параметров насыщения при химико-термической обработке в порошковых смесях.

Исследовано влияние состава насыщающей смеси, а также температуры и длительности выдержки на формирование структуры поверхностного слоя изделий. Установлено, что наличие титана и алюминия в насыщающей смеси приводит к образованию твердого раствора бора, титана и алюминия в железе и препятствует образованию боридов железа. Это связано с тем, что в процессе нагрева вначале происходит насыщение алюминием (800...850°C) и титаном (900°C) с образованием твердого раствора, а затем - насыщение бором (950°C) с образованием боридов железа на границе твердого раствора с основным металлом.

Получены математические уравнения, характеризующие зависимость процентного содержания твердой и мягкой фазовых составляющих и глубины поверх-

ностного слоя от соотношения компонентов в насыщающей смеси. Показана возможность управления формированием поверхностных слоев с получением необходимого комплекса свойств посредством изменения перечисленных выше параметров.

Уточнены особенности структурообразования в поверхностном слое стали при насыщении в порошковых смесях в зависимости от последовательности насыщения бором и титаном. Впервые показано, что путем применения последовательного боротитанирования и борирования возможно получение нового типа покрытия, представляющего собой иглы боридов практически одинаковой толщины, пронизывающие твердый раствор и соединяющиеся с цепочкой боридов на границе слоя с основным металлом. Равномерная толщина игл боридов обеспечит более равномерный износ по всей глубине слоя, а наличие чередующихся твердой и мягкой составляющей - более низкие значения хрупкости, по сравнению с боридным покрытием.

Предложен механизм образования трещин на поверхности борированных изделий в процессе закалки. Его сущность заключается в появлении центров сужения при охлаждении, дальнейшем сужении участков слоя по направлению к этим центрам и, в связи с потерей пластичности при охлаждении, создании на поверхности растягивающих напряжений.

Установлено влияние закалки на состояние поверхности изделий, предварительно подвергнутых комплексному насыщению бором, титаном и алюминием. Показано, что изделия, подвергнутые после насыщения бором, титаном и алюминием закалке в воде, не растрескиваются, в отличие от борированных. В связи с этим, процесс комплексного насыщения бором, титаном и алюминием с последующей закалкой целесообразно применять для упрочнения изделий, работающих в условиях повышенных нагрузок.

На основе системных исследований установлены типы структур поверхностных слоев, которые обеспечивают высокую абразивную износостойкость покрытий и не склонны к растрескиванию. Для получения такого сочетания свойств, структура поверхностного слоя должна представлять собой отдельные иглы боридов, расположенные в окружении твердого раствора бора, титана и алюминия в α -железе.

Исследована возможность восстановления поверхностных слоев, полученных насыщением бором, титаном и алюминием с помощью наплавки и повторного насыщения. Установлено, что в результате наплавки на поверхности изделий с частично изношенным покрытием образуется слой с мелкозернистой структурой. При последующем насыщении это обеспечивает получение слоя с равномерной толщиной без выраженной иглообразной структуры, что приведет к снижению хрупкости и обеспечит более равномерную износостойкость по всей глубине слоя.

Научно обоснованы области эффективного использования процессов насыщения бором, титаном и алюминием углеродистых сталей в порошковых смесях с целью повышения износостойкости изделий.

Проведено промышленное опробование и внедрен в производство способ комплексного насыщения бором, титаном и алюминием с целью упрочнения деталей пресс-форм прессов КРПК-125 и ДО-443 для изготовления строительных изделий в условиях предприятия ООО «ПТК Велес» (г. Славянск). Как результат – износостойкость деталей пресс-форм повысилась в 4 раза. Фактический годовой эконо-

мический эффект от внедрения данного способа упрочнения в условиях ООО «ПТК Велес» (г. Славянск) составляет 60287 грн.

Ключевые слова: диффузионная металлизация, комплексное насыщение, боротитаноалитирование, углеродистые стали, микроструктура, поверхностный слой, абразивная износостойкость, закалка.

ABSTRACT

Lapchenko A. V. Perfection of processes of complex saturation by a boron, the titan and aluminium at himiko-thermal treatment of simple steels in powder mixes. - Manuscript.

The dissertation on reception of scientific degree of a Cand.Tech.Sci. on a speciality 05.16.01 – «Physical metallurg and a heat treatment of metals». - State institution of higher education «Donetsk National Technical University», Donetsk, 2009.

In volume of a problem of spreading of a scope of simple steels with diffusive coverings instead of steel alloys and alloys actual technical problems are solved.

Influence of makeup of a mix which sates, and also temperatures and soaking times on formation of structure of a blanket of products is investigated. Possibility of running by formation of blankets with reception of a necessary complex of properties by means of change of the parametres set forth above is shown.

Influence of hardening on a surface condition of the products preliminary subjected to complex saturation by a boron, the titan and aluminium is fixed. It is shown, that the products subjected after saturation by a boron, the titan and aluminium to a water quenching, not decrepitate, unlike subjected to saturation by a boron.

The optimum structure of a blanket after saturation by a boron, the titan and aluminium that provides a combination of high wearing quality and low fragility is fixed.

Areas of an effective utilisation of processes of saturation by a boron, the titan and aluminium of simple steels in powder mixes for the purpose of increase of firmness of products are scientifically proved. Results of work are used at hardening of details of pressure casting dies of squeezers for manufacturing of building products.

Keywords: diffusive metallization, complex saturation borotitanoalitzing, carbonaceous steels, microstructure, superficial layer, abrasive wear resistance, quenching.