

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра материаловедения, технологии
и управления качеством

**ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ИЗНОСОСТОЙКОЙ СТАЛИ, ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЕРЕКРИСТАЛИЗАЦИИ**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 4091 группы
направления 22.03.01 «Материаловедения и технологии материалов»,
профиль «Нанотехнологии, диагностика и синтез современных материалов»
института физики

Чернышова Ильи Дмитриевича

Научный руководитель,
зав. кафедрой,
д.ф.-м.н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание

С.Б. Вениг

инициалы, фамилия

подпись, дата

Зав. кафедрой,
д.ф.-м.н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание

С.Б. Вениг

инициалы, фамилия

подпись, дата

Саратов 2023

Введение. Развитие технологий нашего века в значительной степени основано на использовании стали, которая должна соответствовать разнообразным условиям. Производство стали непрерывно увеличивается в результате растущей потребности в металлических материалах. Это увеличение также привело к изменениям, касающимся качества производимой стали и технологий разработки [1].

Сталь – это сплав железа с углеродом, в котором содержится не менее 50% железа и один или несколько легирующих элементов. Каждый химический элемент, входящий в состав стали отвечает за определенные свойства, такие как прочность, твердость, коррозионную стойкость, магнитную проницаемость и обрабатываемость.

В процессе эксплуатации деталей происходит их естественный износ. Наибольшему износу подвержены поверхностные слои изделий. Поэтому целесообразно улучшать твердость и контактную выносливость поверхностного слоя материала.

Существует достаточно много различных методов упрочнения поверхностей металлических изделий, каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки. Одним из наиболее важных недостатков является высокая себестоимость обрабатываемой поверхности. Метод электродугового упрочнения металлических поверхностей обладает сравнительно низкой себестоимостью обработки, при этом не уступает по качеству упрочнения поверхностей изделия [2].

Целью выпускной квалификационной работы является исследование микротвердости поверхности стального изделия, полученного при помощи электродугового упрочнения.

На основе поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить литературу по теме исследования;
- обосновать выбор способа поверхностного упрочнения стальных изделий;
- провести электродуговое упрочнение поверхности стального изделия;

- оценить микротвердость поверхности упрочненного изделия;
- проанализировать полученные результаты.

Выпускная квалификационная работа занимает 53 страницы, имеет 24 рисунка и 3 таблицы.

Обзор составлен по 34 информационным источникам.

Структура ВКР.

Во введение рассматривается актуальность работы, устанавливается цель и выдвигаются задачи для достижения поставленной цели.

Первый раздел «Литературный обзор. Понятие твердости материала и его значение» представляет собой обзор отечественной и зарубежной литературы о твердости материала и его значении, дана характеристика методов измерения твердости и микротвердости, рассмотрены методы упрочнения стали и сплавов, обоснован выбор метода поверхностного упрочнения стальных изделий.

Во втором разделе работы «Экспериментальная часть. Способ электродугового упрочнения стальных изделий» описана экспериментальная часть исследования. В разделе приведено описание оборудования для электродугового упрочнения поверхности металлических изделий и оборудования, на котором происходило исследование микротвердости поверхности испытуемого изделия. Также представлены результаты проведенного эксперимента.

Основное содержание работы. Понятие твердости материала и его значение. При разработке конструкционных материалов необходимо проводить оценку их физико-механических характеристик. Одной из характеристик, позволяющих определить качество изделий и материалов, является твердость.

Под твердостью понимается свойство материала, позволяющее сопротивляться внедрению в него более твердого и упругодеформированного индентора. Индентирование является одним из способов механических испытаний. В процессе увеличения нагрузки на наконечник материал проявляет те же свойства, что и при любом другом виде механических испытаний и

проходит три стадии: упругую деформацию, пластическую деформацию и разрушение.

Существует большое количество методов измерения твердости, к которым применяют разные квалификации как по особенностям приложенной нагрузки (статические, динамические, кинетические), так и по масштабному фактору (нано-, микро-, макро-). Используют также сочетание твердометрии с различными видами физических методов исследования поверхности металлических материалов: комбинирование измерения твердости с методами акустической эмиссии и контролем магнитной проницаемости, кинетическое акустическое склероскопирование, динамическое кинетическое индентирование и другие [1].

Методы измерения твердости. По способу прикладываемой нагрузки методы измерения твердости можно разделить на методы царапания, резания, отскока и вдавливания. При этом величину силы вдавливания относят либо к площади отпечатка, либо к проекции этой площади на поверхность образца.

Твердость по Моосу – испытание тела на твердость царапанием (метод склерометрии).

Твердость по Бринеллю. В качестве индентора используется стальной закаленный шарик, либо шарик из карбида вольфрама, который вдавливают в испытуемый образец на специальном прессе.

Твердость по Виккерсу основан на исследовании зависимости глубины проникновения алмазного конуса (индентора) в исследуемый материал от величины усилия.

Твердость по Роквеллу основан на погружении алмазного наконечника (120 градусов) или стального закаленного шарика (диаметром 1,588 мм) с последующим измерением глубины отпечатка.

Твёрдость по Шору включает два способа: вдавливания и отскока.

Твердость по Кнупу (тест микротвердости) аналогично испытанию по Виккерсу, при котором используется алмазный наконечник (индентор) для

выдавливания углубления в испытываемом образце, но Кнуп применил ромбический алмаз вместо алмаза с пирамидальным острием [3].

Понятие микротвердости. Микротвёрдость – твёрдость отдельных участков микроструктуры материала [4]. Микротвёрдость определяется индентированием при нагрузке на индентор не более 2Н (ньютонов) (при большей нагрузке полученные характеристики материала относятся к макромасштабным) и при внедрении индентора не менее, чем на 200 нанометров (при испытаниях с меньшим внедрением речь идёт уже о нанотвёрдости). Главное назначение этого метода – оценка твердости отдельных фаз или структурных составляющих сплавов, а также разницы в твердости отдельных участков этих составляющих [5].

Упрочнение материала. Одной из важнейших задач современного этапа развития машиностроения является повышение качества, надежности и долговечности деталей и узлов различных машин и механизмов. Для радикального решения этой проблемы необходим комплексный подход, включающий создание новых материалов, разработку и освоение новых технологий. В процессе эксплуатации многих машин и механизмов их детали работают в жестких условиях в контакте с агрессивными средами при высоких температурах, вызывающих как существенный износ поверхности, так и интенсивную коррозию. Изнашивание рабочих поверхностей деталей нередко требует их полной замены, что повышает себестоимость производства, тогда как их массогабаритные характеристики составляют 90-95% от номинальных. Следовательно, нет необходимости большинству деталей машин придавать одинаковые свойства по всему сечению способами объемной закалки. В некоторых случаях это может оказаться не только излишним, но даже вредным. Наиболее рациональное распределение свойств по сечению многих деталей – наибольшая твердость поверхностных слоев при достаточно вязкой сердцевине и плавном переходе между ними. Такое распределение свойств по сечению наиболее целесообразно и с точки зрения долговечности работы изделий [6]. Снижается риск поломок при эксплуатации.

Методы упрочнения стали и сплавов. Термическая обработка сталей (ТМО). Термической обработкой стали является некоторое количество операций нагрева, выдержки и охлаждения металлических сплавов с целью изменения их внутреннего строения и структуры. Термическую обработку используют для улучшения обрабатываемости давлением, либо как окончательная операция технологического процесса. Виды термической обработки: отжиг 1 и 2 рода, полный и неполный отжиг, диффузный отжиг [7].

Поверхностное упрочнение стальных изделий. Общим для всех видов поверхностной закалки является нагрев поверхностного слоя детали до температуры закалки с последующим быстрым охлаждением. Эти способы различаются методами нагрева деталей. Наибольшее распространение имеют электротермическая закалка с нагревом изделий токами высокой частоты (ТВЧ) и газопламенная закалка с нагревом газово-кислородным или кислородно-керосиновым пламенем [8].

Старение сплавов. Старение сплавов связано с переменной растворимостью избыточной фазы, а упрочнение при старении происходит в результате дисперсионных выделений при распаде пересыщенного твердого раствора и возникающих при этом внутренних напряжений.

Обработка стали холодом. Высокоуглеродистые и многие легированные стали имеют температуру конца мартенситного превращения (M_k) ниже 0°C . Поэтому в структуре стали после закалки наблюдается значительное количество остаточного аустенита, который снижает твердость изделия, а также ухудшает магнитные характеристики. После обработки холодом сталь подвергают низкому отпуску, так как обработка холодом не снижает внутренних напряжений.

Упрочнение металлов методом пластической деформации. Основное назначение методов механического упрочнения поверхности – повышение усталостной прочности. Методы механического упрочнения заключаются в наклёпывание поверхностного слоя на глубину 0,2...0,4 мм.

Разновидностями являются дробеструйная обработка и обработка роликами [9].

Химико-термическая обработка стали

Химико-термической обработкой (ХТО) называют поверхностное насыщение стали некоторыми химическими элементами – неметаллами и металлами (например, углеродом, азотом, алюминием, хромом и др.) путем их диффузии в атомарном состоянии из внешней среды при высокой температуре. В ходе данных процессов обязательно изменяется химический состав, микроструктура и свойства поверхностных слоев изделий. ХТО это основной способ поверхностного упрочнения деталей. Основными видами ХТО являются цементация, азотирование, нитроцементация, цианирование и диффузионная металлизация [9].

Основные пути упрочнения поверхностного слоя. При рассмотрении механизмов упрочнения различают четыре основных пути возможного упрочнения поверхностного слоя [10]:

1) Структурное упрочнение, достигаемое высокоскоростным нагревом тонкого поверхностного слоя, до температур, не превышающих температур фазового превращения.

2) Упрочнение путем поверхностной закалки с получением метастабильного фазового состояния и последующим старением и отпуском.

3) Упрочнение путем нагрева поверхностного слоя до температур, превышающих температуру плавления с последующей ускоренной кристаллизацией, при которой достигается образование сверхмелкодисперсной кристаллической структуры, аморфного состояния вещества либо иных метастабильных состояний закристаллизованной поверхности.

4) Упрочнение путем поверхностного легирования слоя на основе протекания микрометаллургических процессов в поверхностном расплаве и диффузного взаимодействия легирующего компонента в слое с основой сплава в результате оплавления поверхности изделия вместе с предварительно нанесенным на поверхность слоем легирующего компонента.

Экспериментальная часть. Способ электродугового упрочнения стальных изделий. Способ электродугового упрочнения стальных изделий включает в себя нагрев поверхности изделия электрической дугой прямой полярности, зажигаемой между неплавящимся электродом и поверхностью изделия. Для этого используют неплавящийся электрод с углом заточки от 45 до $75\pm 2^\circ$. Также осуществляют регулирование тепловложения дуги путем изменения силы тока от 40 до 90 А. При этом изделие вращают в процессе обработки со скоростью от 0,009 до 0,02 об/с. Техническим результатом изобретения является повышение твердости и износостойкости поверхности изделия, регулирование глубины упрочненного слоя [11].

Оборудование для проведения эксперимента: Микротвердомер DuraScan 20, отрезной станок Labotom 5, электрогидравлический пресс Struers CitoPress-1, двухдисковая шлифовальная машина MDG02.

Описание хода эксперимента. 1. Выбор материала. За основу в качестве материала исследования были использованы 3 образца стали марки Ст3. 2. Полировка оксидом церия. 3. Упрочнение образцов на установке для высокоскоростной перекристаллизации низкоуглеродистых сталей. 4. Изготовление микрошлифа. 5. Запрессовка образцов. 6. Шлифовка и полировка образцов.

Результаты эксперимента. Определение микротвердости новых образцов производилось с помощью микротвердомера DuraScan 20. В итоге, после проведенного эксперимента, произошло увеличение твердости материала. Было установлено, что при регулировке заявленных параметров можно получить максимальную глубину упрочнения с высокими значениями твердости и износостойкости. Так, при увеличении скорости обработки и силы тока, глубина упрочненной поверхности уменьшается. При уменьшении скорости обработки и уменьшении силы тока, глубина упрочненного слоя увеличивается. При увеличении силы тока и уменьшении скорости упрочнения, глубина упрочненного слоя уменьшается. Изменение скорости упрочнения позволяет регулировать тепловложение, следовательно, и глубину

упрочненного слоя. Увеличение скорости упрочнения и увеличение силы тока приводит к уменьшению глубины упрочнения и уменьшению значений твердости.

Заключение. При рыночной экономике одной из важных задач является обеспечение качества деталей машин, повышение их эксплуатационных показателей. Эти показатели определяются параметрами качества поверхностного слоя. Большая часть причин выхода из строя машин и механизмов связано с износом узлов трения. Следовательно, одним из направлений обеспечения качества машин является повышение износостойкости этих деталей, которое может быть достигнуто путем включения периода приработки на стадию изготовления за счет применения соответствующих технологических процессов изготовления. Износ зависит от многих параметров качества поверхностного слоя, поэтому важно знать возможности управления комплексом этих параметров в процессе обработки, включая геометрические, механические, физические и химические структурные свойства. При производстве деталей машин широко применяются различные методы поверхностного упрочнения. Изложенная в данной выпускной квалификационной работе технология поверхностного упрочнения деталей машин позволит достичь требуемого качества изделия и формировать системный подход к решению актуальных задач повышения долговечности деталей и узлов машин.

Способ электродугового упрочнения стальных изделий может быть использован для повышения твердости и износостойкости поверхностных деталей, работающих при ударных и знакопеременных нагрузках в машиностроении, увеличивает надежность и долговечность деталей и конструкций. Кроме того данный способ обладает относительно низкой стоимостью обработки.

В ходе выполнения практики были получены следующие результаты:

- в способе электродугового упрочнения стальных изделий путем регулировки силы тока, угла заточки неплавящегося электрода и скорости

вращения детали можно получить максимальную глубину упрочнения с высокими значениями твердости и износостойкости;

- при увеличении скорости обработки и силы тока, глубина упрочненной поверхности уменьшается;

- при уменьшении скорости обработки и уменьшении силы тока, глубина упрочненного слоя увеличивается;

- при увеличении силы тока и уменьшении скорости упрочнения, глубина упрочненного слоя уменьшается.

Список использованных источников

1 Dragna, E. C. Methods of steel manufacturing – The electric arc furnace / E. C. Dragna, A. Ioana, N. Constantin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – P. 294.

2 Михеев, А. Е. Упрочнение металлических поверхностей электрической дугой / А. Е. Михеев, А. В. Гирн, С. С. Ивасев, Р. В. Карпов // Сварочное производство. – 2003. – № 2. – С. 24-27.

3 Sundararajan, G. Hardness Testing / G. Sundararajan, M. Roy // Encyclopedia of Materials: Science and Technology. – 2001. – P. 3736.

4 Аникин, А. А. Металловедение. Сборник лабораторных работ по дисциплине «Материаловедение. Металловедение» / А. А. Аникин, [и др.]. – Саратов : Б. и., 2015. – 90 с.

5 Арзамасов, Б. Н. Металловедение: Учебник для вузов / Б. Н. Арзамасов, В. И. Макарова, Г. Г. Мухин – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 648 с.

6 Коваленко, В. С. Прогрессивные методы лазерной обработки материалов / В. С. Коваленко. – Киев : Вища школа, 1985. – 243 с.

7 Bhadeshia, H. Heat Treatment of Steels: Hardenability / H. Bhadeshia, R. Honeycombe // Butterworth-Heinemann. – 2017. – P. 236.

8 Nath, A. K. Laser Transformation Hardening of Steel. Advances in Laser Materials Processing. / A. K. Nath – 2018. – P. 298.

9 Гуляев, А. П., *Металловедение: Учебник для вузов* / А. П. Гуляев, А. А. Гуляев. – 7-е изд., перераб. и доп. – М. : ИД Альянс, 2011. – 644 с.

10 Лякишев, Н. П. *Энциклопедический словарь по металлургии* / Н. П. Лякишев. – М. : Интермет Инжиниринг, 2000. – 821 с.

11 Григорьянц, А. Г. *Основы лазерной обработки материалов* / А. Г. Григорьянц. – М. : Машиностроение, 1989. – 480 с.