

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

Хайрулина Эльвира Маратовна

**Исследование взаимосвязи количественных показателей
структурной организации и физико-механических свойств
конструкционных сталей**

Направление подготовки 22.03.01 - «Материаловедение и технологии
материалов»

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ



2020г.

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре
государственный университет»

Научный руководитель

Доцент,

Белова Инна Валерьевна

Рецензент

Кандидат технических наук,

Штанов Олег Викторович

Защита состоится «30» июня 2020 года в ____ часов ____ мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд.

Автореферат разослан ____ июня 2019 г.

Секретарь ГЭК

Белова Инна Валерьевна

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования

Сталь - основной металлический материал, широко применяемый для изготовления деталей машин, летательных аппаратов, приборов и строительных конструкций. Используя количественные характеристики отдельных элементов структуры, можно создавать комплексные показатели для описания кинетики структурных изменений при механическом и тепловом воздействиях. При выборе стали необходимо знать какими свойствами и параметрами она обладает, чтобы обеспечить широкое применение и производство изделий с определенными качествами.

Цель работы: исследование взаимосвязи между количественными показателями изображения микроструктуры материала для описания структурных превращений при термической обработке конструкционных сталей.

Основные задачи исследования:

- 1) подвергнуть образцы из конструкционной стали разным методам термической обработки (отжиг, нормализация, закалка в воду, закалка в масло, отпуск 200, отпуск 400, отпуск 600);
- 2) подготовить металлографические шлифы;
- 3) получить и исследовать микроструктуры образцов с помощью компьютерной металлографии;
- 4) определить механические свойства (твёрдости);
- 5) цифровая обработка фотографий структуры и получение количественных показателей;
- 6) построить графики зависимости (график твердости, график плотности границ);
- 7) установить связи между количественными показателями структурной организации материала и механическими свойствами.

Научная новизна:

В ходе данного исследования взаимосвязи количественных показателей структурной организации и физико-механических свойств конструкционных сталей, производится пополнение базы данных, для дальнейшего исследования в данной области.

Методы исследования. Теоретические исследования выполнены с использованием соответствующих разделов физики твердого тела, материаловедения, процессов механической и физико-технической обработки.

Экспериментальные исследования проводились с использованием современного оборудования. В частности, электропечи сопротивления SNOOL 6.7- 1300, шлифовально-полировального станка Buehler EcoMet 250 Pro, металлографического микроскопа Nikon Eclipse MA200, микротвердомера Shimadzu HNV-2.

Обработка изображений микроструктур осуществлялась с помощью программы Image-Pro.Plus версии 5.1.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 3 глав и заключения. Работа изложена на 69 страницах, включая 26 рисунков, 6 таблиц. Список использованных источников содержит 49 наименований.

Основное содержание работы

Во введении представлено обоснования актуальности темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований.

В первой главе представлен обзор литературных данных касаяемо общих сведений о конструкционных сталях, их свойствах, классификациях.

Произведено описание структурных изменений при термической обработке конструкционных сталей.

Одним из наиболее эффективных направлений улучшения прочностных свойств конструкционных материалов, является разработка оптимальных

режимов термического воздействия. Это дает возможность, с одной стороны, получать изделия с определенными заданными свойствами, отвечающими эксплуатационным требованиям, с другой стороны, прогнозировать изменение свойств деталей и конструкций в процессе изготовления и эксплуатации.

Механические свойства металлов и сплавов зависят не только от размера зерен, но и характера их размерного распределения.

Влияние границ зерен на свойства металла в целом сказывается прежде всего в том, что эти границы являются поверхностями раздела зерен, в которых частицы (атомы) самого металла уже энергетически отличны от атомов, расположенных в решетке внутри зерна. Полагают, что частицы между зернами обладают повышенной энергией, представляющей поверхностную энергию, которая играет большую роль в явлениях, происходящих в различных телах. Таким образом, даже если представить себе абсолютно чистый металл, то и в нем должна существовать прослойка между зернами в виде неопределенно расположенных атомов, которую некоторые рассматривают как аморфную пленку металла и которая может влиять на свойства всего куска металла в целом.

Во второй главе приведены методики термической обработки конструкционной стали 45, приготовления металлографических шлифов, методики исследования полученных образцов при помощи современного оборудования.

Термическая обработка

Универсальная лабораторная камерная электропечь SNOL 6.7-1300 с камерой из плит термоволокна предназначена для нагрева, обжига, прокали и других видов термической обработки керамики и различных материалов при температуре до +1300 °С в воздушной среде.

Общий вид печи показан на рисунке 1.



Рисунок 1 – Муфельная электропечь *SNOL* 6.7-1300

Данные по термической обработке представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Данные по термической обработке

Номер образца	Температура закалки, °С	Среда охлаждения
№ 1 Отжиг	840	в печи
№ 2 Нормализация	840	на воздухе
№ 3 Закалка в масле	840	в масле
№ 4 Закалка в воду	840	в воде
№ 5 Отпуск 200	200	на воздухе
№ 6 Отпуск 400	400	на воздухе
№ 7 Отпуск 600	600	на воздухе

Методика приготовления шлифа

Шлифование образцов необходимо для снятия механических неровностей металла с помощью специальных абразивных инструментов. В нашем случае шлифовку будем проводить на шлифовально-полировальном станке Buehler EcoMet 250 Pro.

Шлифовально-полировальный станок Buehler EcoMet 250 Pro (рисунок 2) предназначен для полуавтоматической подготовки образцов с использованием специальных насадок.



Рисунок 2– Шлифовально-полировальный станок для подготовки образцов Buehler EcoMet 250 Pro

Шлифование производим в несколько этапов с переходом от наждачной бумаги с более крупным зерном к бумаге с более мелким абразивным зерном.

Вслед за шлифовкой производится полировка, предназначенная для удаления мелких неровностей на поверхности шлифа. Полировку осуществляем механическим способом с помощью абразивных алмазных паст.

Так же, при смене пасты и в конце полировки обязательно требуется очистить и промыть образец.

Далее, для выявления структуры, проводим травление образцов. Травление заключается в помещении образца в раствор 4 % HNO_3 в спирте и выдержки 4 – 5 секунд, после чего следует хорошо промыть образец в теплой воде и протереть этиловым спиртом.

Методика работы с программой Image-Pro.Plus версии 5.1

Программа Image-Pro.Plus версии 5.1 – наиболее полный и мощный на сегодняшний день программный пакет для анализа изображения.

Используя программу Image-Pro.Plus версии 5.1, можно обработать изображения фотографированной структуры материала. Затем программа считывает и выводит на монитор результаты в виде гистограммы, статистики, из чего уже делаются выводы.

Исследование структуры

Исследования структуры проводились на оптическом микроскопе Nikon Eclipse MA200, который позволяет проводить исследования объектов в светлом и темном поле, в поляризованном свете и методом дифференциально интерференционного контраста.

Nikon Eclipse MA200 – это инвертированный микроскоп (рисунок 3) с инновационной конструкцией, оптимизированной с учетом требований эргономики и цифрового документирования. В модели MA200 используется интегрированная система искусственного интеллекта для автоматического комбинирования полученных изображений с данными о настройках наблюдения, что обеспечивает еще более всестороннее документирование.



Рисунок 3 – Металлографический микроскоп Nikon Eclipse MA200

Определение твердости

Твердость определяли с помощью микротвердомера Shimadzu HМV-2 (рисунок 4).



Рисунок 4 – Модель микротвердомера Shimadzu HМV-2

Микротвердомеры серии HМV-2 предназначены для стандартизованных и универсальных измерений твердости тонких металлических образцов, а также хрупких материалов.

Принцип действия основан на статическом вдавливании наконечника – алмазной пирамиды Виккерса, с последующим измерением длины диагоналей отпечатка. Числа твердости Виккерса определяются по среднему значению длин диагоналей отпечатка. Измерение проводили вдоль поперечного сечения на металлической матрице, по 5 точек на каждый миллиметр.

Индентор Виккерса представляет собой алмазную пирамиду с углом наклона при вершине 136° (рисунок 5).

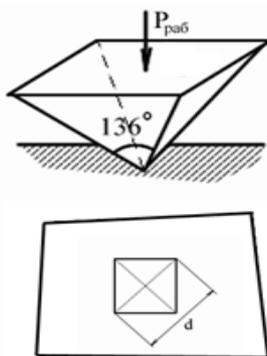


Рисунок 5 – Схема определения твердости по Виккерсу

Данные по микротвердости образцов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Представлены значение микротвердости, HV

Номер образца	Средне значение твердости, HV
№ 1 Отжиг	124,4
№ 2 Нормализация на воздухе	246
№ 3 Закалка в масле	542,2
№ 4 Закалка в воду	552,2
№ 5 Отпуск 200	530,8
№ 6 Отпуск 400	398,4
№ 7 Отпуск 600	309,6

В третьей главе дана физическая интерпретация некоторых количественных показателей изображений микроструктур, влияние энергии на границы зерен, влияния зеренных границ на механические свойства и процесс деформации поликристаллов, количественные показатели интерфейса структурного состояния поликристаллического материала.

Количественное описание интерфейса структурного состояния является основной задачей металлографии. Основой компьютерной оптической металлографии являются цифровое изображение структуры материала, комплекс программных продуктов для обработки изображений и набор количественных показателей структурных составляющих. Используя количественные характеристики отдельных элементов структуры, можно создавать комплексные показатели для описания кинетики структурных изменений при механическом и тепловом воздействиях.

Ниже на рисунках 6 – 12 представлены фотографии микроструктуры стальных образцов при различных видах термической обработки.

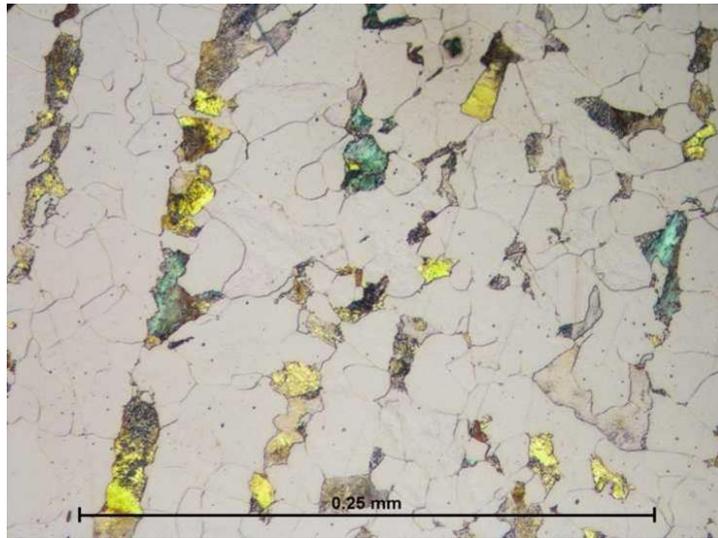


Рисунок 6 – Отжиг (x400)

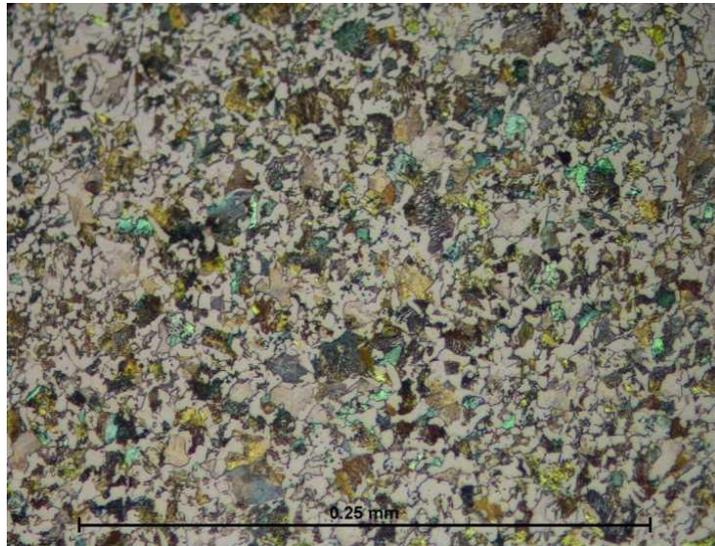


Рисунок 7 – Нормализация на воздухе (x400)

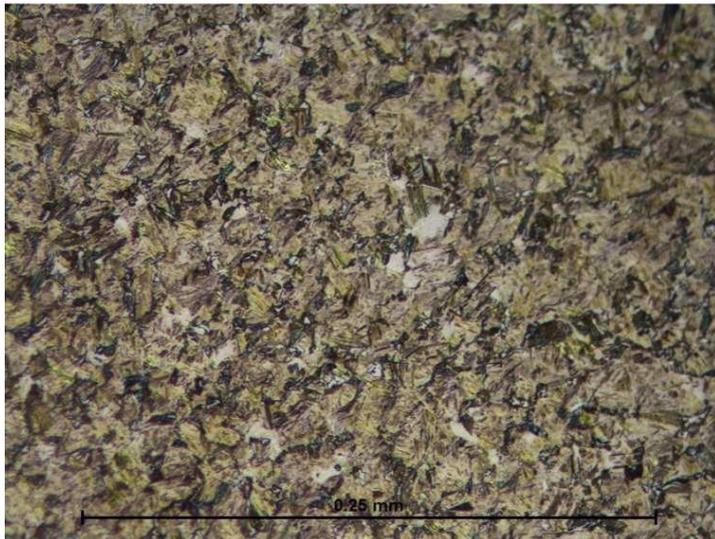


Рисунок 8 – Закалка в масле (x400)

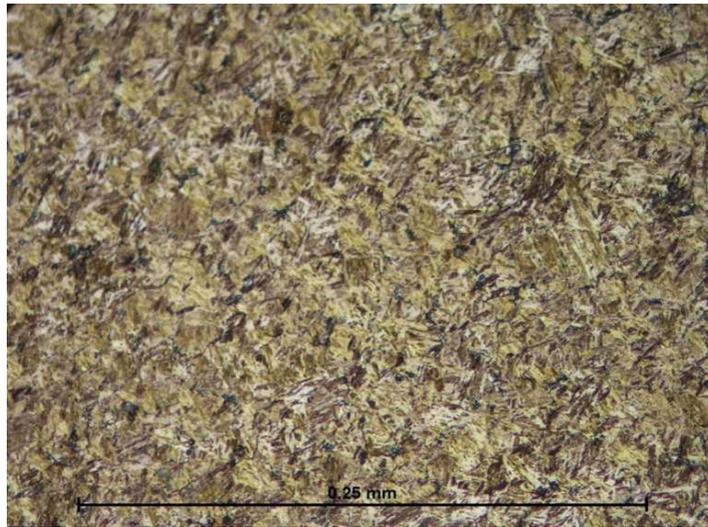


Рисунок 9 – Закалка в воду (x400)

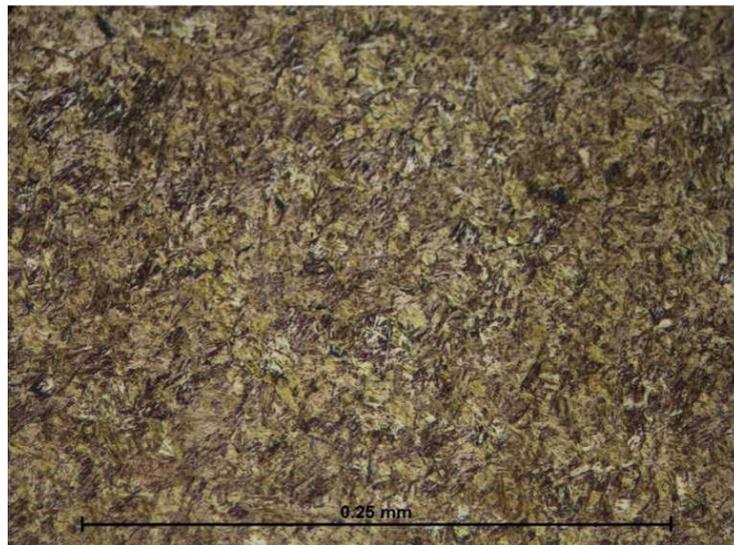


Рисунок 10 – Отпуск 200 (x400)

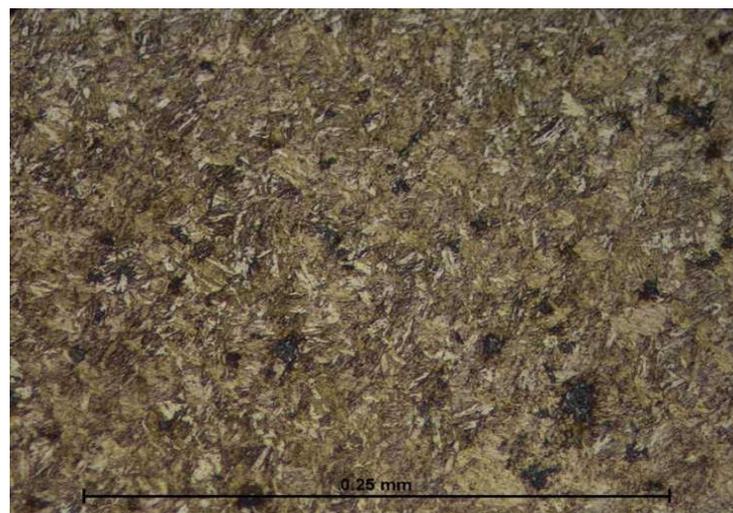


Рисунок 11 – Отпуск 400 (x400)



Рисунок 12 – Отпуск 600 (x400)

Ниже на рисунках 13 - 16 представлены различные графики зависимостей.

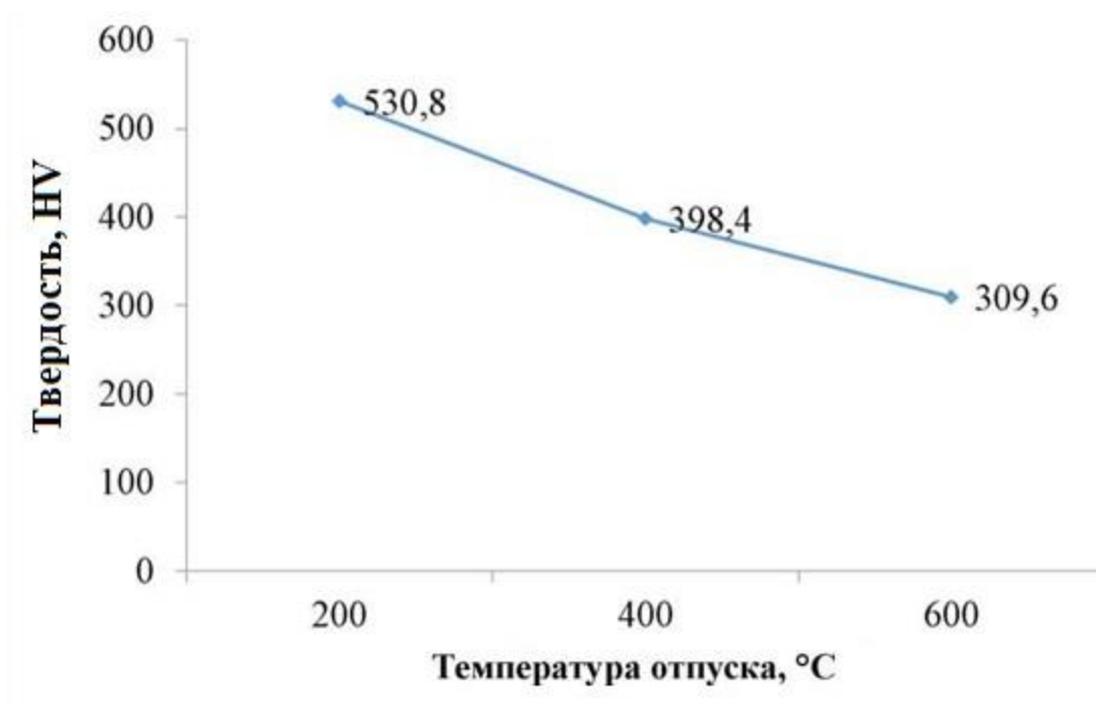


Рисунок 13 – Микротвердость в зависимости от температуры отпуска

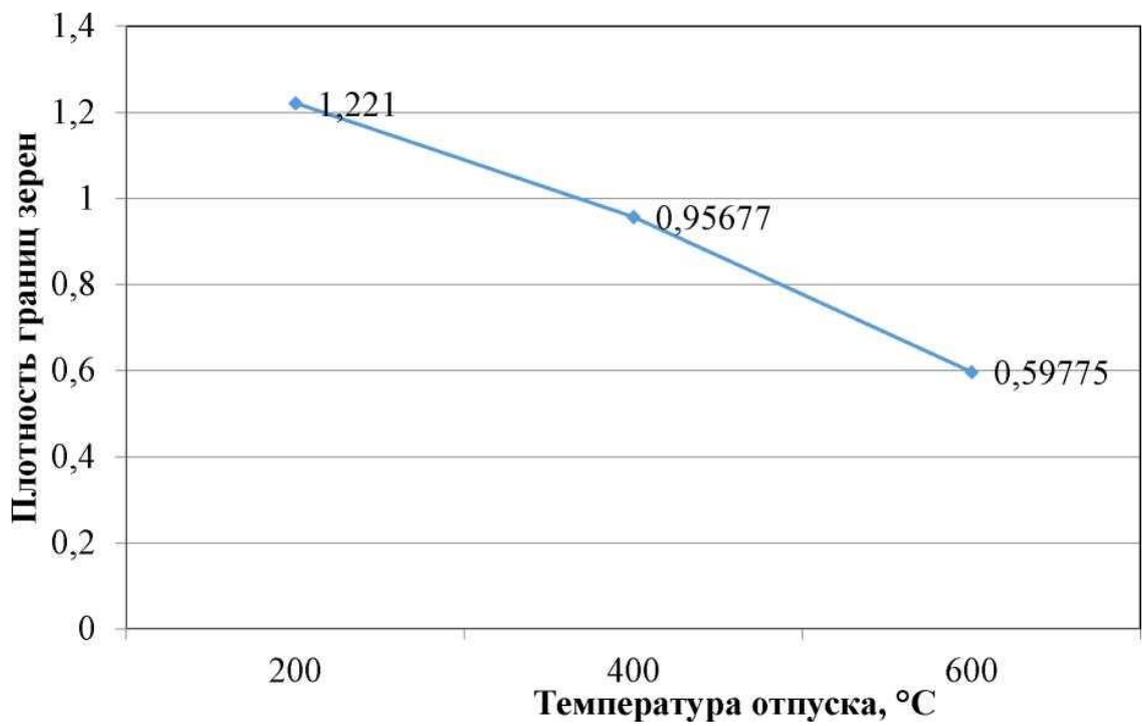


Рисунок 14 – Плотность границ зерен в зависимости от температуры отпуска

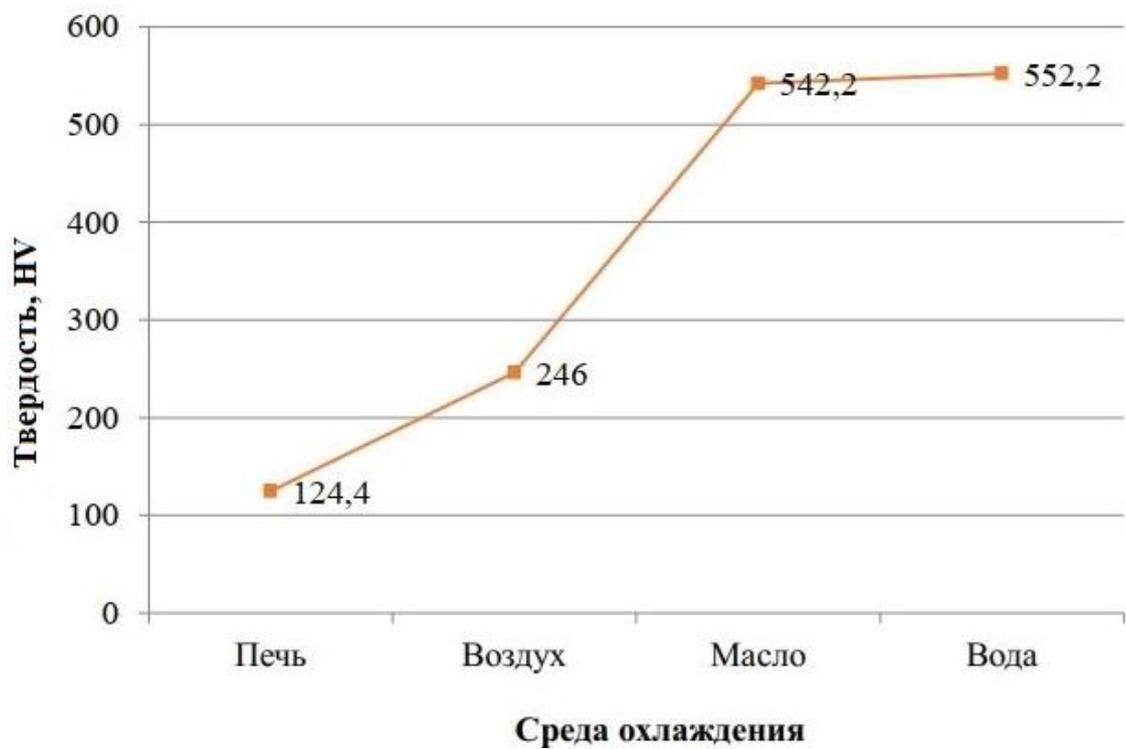


Рисунок 15 – Микротвердость в зависимости от среды охлаждения

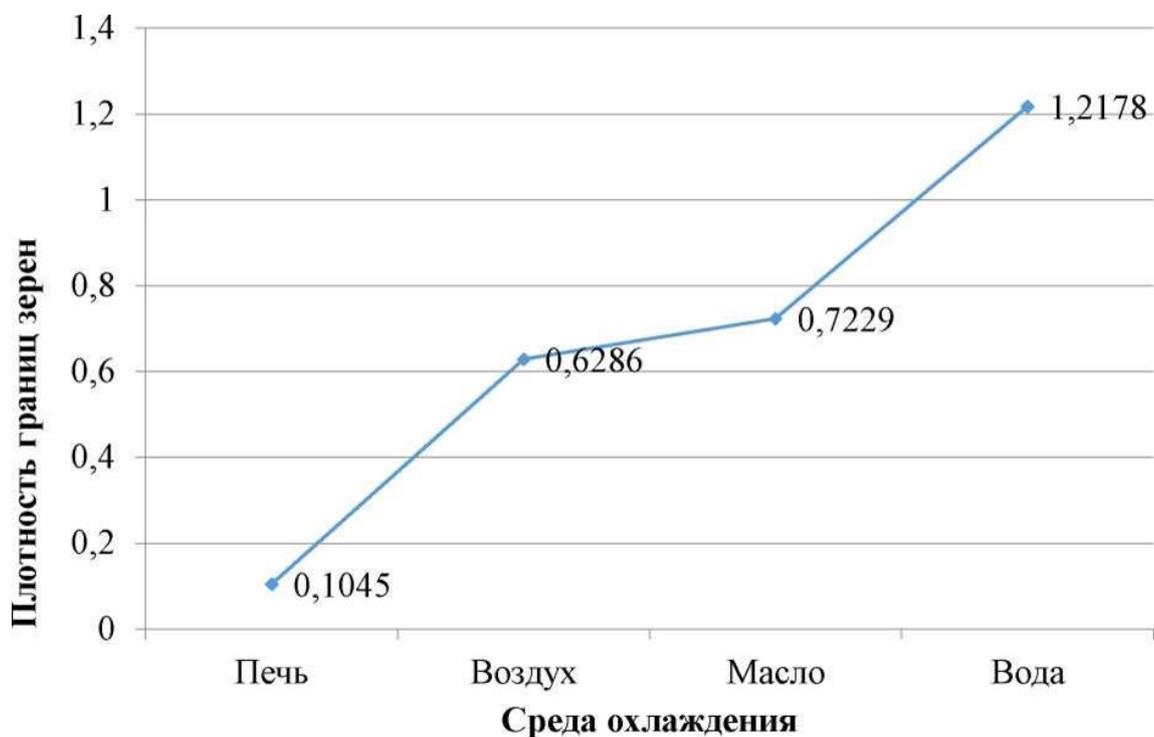


Рисунок 16 – Плотность границ зерен в зависимости от среды охлаждения

Основные выводы и результаты

Плотность границ зерен и твердость материала обратно пропорциональны температуре отпуска материала и прямо пропорциональны скорости охлаждения после закалки материала.

Характер изменения плотности границ с повышением упрочнения сталей возрастает, при этом минимальные значения наблюдаются у отожженных, а максимальные – у закаленных структур.

Количественные показатели микроструктуры можно использовать для математического моделирования структурных изменений при термической обработке и пластической деформации, а также воздействия на сталь различных видов энергии.

Применение компьютерной металлографии позволяет точнее выявить несовершенства материала и лучше спрогнозировать его эксплуатационные свойства.