

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный
технический университет»

На правах рукописи

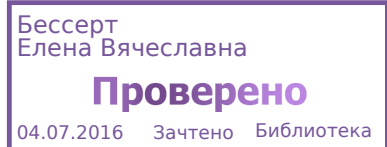
Кочетков Марк Сергеевич

**Исследование влияния структурных импульсной лазерной обработки
инструментальных быстрорежущих и конструкционных сталей**

Направление подготовки

22.04.01- «Материаловедение и технологии материалов»

АВТОРЕФЕРАТ
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ



2016

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

Научный руководитель

доктор технических наук,
профессор
Ким Владимир Алексеевич

Защита состоится «29» июня 2016 года в 9 часов 00 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов» в Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 202

Автореферат разослан 24 июня 2016 г.

Секретарь ГЭК

А.А. Шпилева

Цель и задачи исследования

Цель работы заключается в исследовании влияния импульсной лазерной обработки на характер структурных превращений инструментальных и легированных сталей, а так же оптимизации режимов для повышения поверхностной прочности и износостойкости.

Задачи исследования :

1. Изучение и анализ выполненных работ по физике и технологии лазерной обработки металлических материалов.
2. Изучение современных методов исследования структуры и физико-механических свойств материалов.
3. Исследование структурных превращений при лазерной обработке металлических материалов.
4. Исследование микротвердости и износостойкости поверхностей, обработанных лазерным воздействием.
5. оптимизация режимов лазерной обработки.

Объект и предмет исследования

Объектами исследований является конструкционная сталь марки 30ХМА, инструментальная быстрорежущая сталь Р6М5, железо-армко. Предметом исследования является анализ физико-механических свойств материала , а так же структурных изменений генерируемых импульсной лазерной обработкой .

Методы исследования

Выполнение научных исследований проводилось на основе экспериментов с использованием методов лазерной импульсной обработки материалов , а так же результатов металлографического анализа.

Новизна полученных результатов

Научная новизна заключается в использовании метода цветовой сегментации которая позволяет разделять структурные составляющие по степени их химической активности при травлении металлографического шлифа, таким образом появляется возможность проанализировать структуру материала с помощью новых количественных показателей структурной организации материала.

Достоверность и обоснованность результатов исследования

Достоверность полученных и представленных в диссертации результатов подтверждается использованием современных независимых, взаимодополняющих методов исследования, большим объемом непротиворечивых экспериментальных данных, согласованность сданными теоретических исследований. Анализ экспериментальных данных проведен с соблюдением критериев достоверности измерений.

Практическая значимость и ценность работы

Практическая значимость работы заключается в получении результата – определяющего физико-механические свойства материала, характер структурных превращений инструментальных и легированных сталей выполняемых на оптимальных режимах импульсной лазерной обработки. Ценность работы заключается в предложении новой методики цветовой сегментации, позволяющей ранжировать микроструктурные объекты по величине их химического потенциала.

Личный вклад автора

Представленные в работе результаты получены лично автором или при его непосредственном участии.

Анализ литературных источников, экспериментальные исследования, а также обработка и анализ результатов экспериментов выполнены лично автором. Электронно-микроскопические исследования, лазерная обработка, компьютерная металлография и методы металлографического анализа проведены автором. Постановка задач исследований и обсуждение результатов проведено при непосредственном участии автора совместно с научным руководителем.

Основные положения выносимые на защиту

На защиту выносятся следующие основные положения и результаты работы:

1. Исследование структурных превращений при лазерной обработке железо-армко.

2. Оптимизация режимов лазерной обработки для инструментальной стали Р6М5 и конструкционной стали 30ХМА.

3. Выводы по результатам проведенных исследований.

Апробация результатов работы

Основные результаты диссертационной работы были представлены и обсуждались на Научной технической конференции студентов и аспирантов КНАГТУ (апрель 2016 г.).

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, 3 глав, списка литературы; изложена на 62 страницах, включает 28 рисунков, 11 таблиц. Список литературы содержит 20 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность работы и определены основные направления исследования.

В **первой главе** приведен аналитический обзор литературных источников касающихся структурных механизмов при лазерной обработке конструкционных и инструментальных сталей.

Во **второй главе** приведено описание материала и методик исследования.

В качестве эталонного материала использовалось железо-армко для изучения отдельных механизмов упрочнения. Такой выбор обосновывается тем что в данном материале практически отсутствуют закалочные процессы при термическом воздействии, таким образом появляется возможность исследовать в чистом виде структурные механизмы упрочнения, в частности, генерацию линейных дефектов кристаллического строения, развитие и миграцию внутренних границ раздела при полиморфных превращениях и рекристаллизации.

Для исследования импульсной лазерной обработки, проводился ряд экспериментов для конструкционных и инструментальных быстрорежущих

сталей.

В качестве конструкционной стали была выбрана сталь марки 30ХМА , химический состав представлен на рисунке 1.

Химический элемент	%
Углерод, С	0,26 - 0,33
Кремний, Si	0,17 - 0,37
Медь, Cu	0,30
Молибден, Мо	0,15 - 0,25
Марганец, Mn	0,40 - 0,70
Никель, Ni	до 0,30
Фосфор, P	до 0,025
Хром, Cr	0,80 - 1,10
Сера, S	0,025

Рисунок 1 Химический состав стали 30ХМА

В качестве инструментальной стали для исследования была выбрана быстрорежущая сталь марки Р6М5 , химический состав которой представлен на рисунке 2.

Химический элемент	%
Углерод, С	0,82 - 0,9
Кремний, Si	до 0,5
Марганец, Mn	до 0,5
Никель, Ni	до 0,4
Сера, S	до 0,025
Фосфор, P	до 0,03
Хром, Cr	3,8 - 4,4
Молибден, Мо	4,8 - 5,3
Вольфрам, W	5,5 - 6,5
Ванадий, V	1,7 - 2,1
Кобальт, Co	до 0,5
Железо, Fe	80

Рисунок 2 Химический состав стали Р6М5

Лазерная обработка производилась на лазерной установке LRS -300 (рисунок 3).



Рисунок 3 - лазерная установка LRS -300

Для каждого материала были подобраны оптимальные режимы лазерной обработки.

Таблице 1 Режимы лазерной обработки (железо – армко)

№	W, Дж	d, м	$\tau_{из}$, с	$E \cdot 10^6$ Дж/м ²	$W \cdot 10^9$, Вт/м ²
1	6,0	0,002	0,001	1,91	1,91
2	9,0	0,002	0,002	2,87	1,43
3	13,0	0,002	0,002	4,14	2,08
4	19,0	0,002	0,003	6,05	2,02
5	25,0	0,002	0,004	7,96	1,99

Для конструкционной стали 30ХМА был выбран следующий режим лазерной обработки :

- энергия импульса $E = 10$ Дж;
- напряжение накачки $U = 400$ В;
- длительность импульса излучения $\tau = 2$ мс;
- частота повторения импульсов излучения $f = 8$ Гц;
- энергия излучения $W = 4$ кВт;
- диаметр отпечатка $d = 2$ мм.

В третьей главе представлены результаты исследований.

Исследуемые изображения микроструктур предварительно подвергались корректировке резкости и пространственной калибровке. Цветовая сегментация проводилась без разложения цветовых каналов. Вся шкала глубин серого цвета была разделена на 5 интервалом равных 50 пикселям. Коэффициент темно-серого оттенка вычислялся по формуле

$$K_{mco} = 1 - \frac{A_{cp}}{256},$$

где A_{cp} – среднее значение диапазона темно-серого оттенка в пикселях;

K_{mco} – коэффициент темно-серого оттенка.

Границы интервалов и их средние значения в пикселях для железа-армко приведены в таблица 2.

Диапазон	1	2	3	4	5
Границы	0/50	51/100	101/150	150/201	201/255
Среднее значение диапазона	25	75	125	175	225
Коэф. темно-серого оттенка	0,902	0,707	0,511	0,316	0,121

Таблица 2 Границы участков темно-серых оттенков и среднее значение каждого диапазона в пикселях для железа-армко.

Учитывая, что в структуре армко-железа нет достаточно большого числа дисперсных части второй фазы, можно с высокой степенью вероятности отнести точечные элементы на изображениях контрастных масок к пересечениям двухмерных структурных вариаций с плоскостью металлографического шлифа.

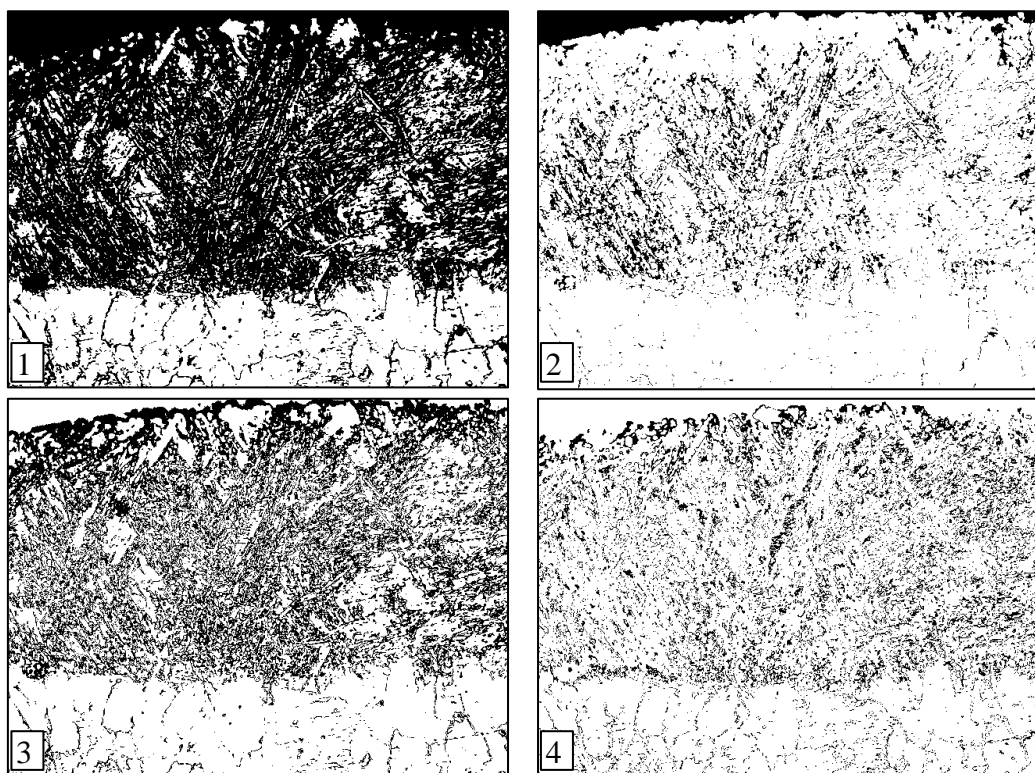


Рисунок 3 Контрастная маска изображения микроструктуры ЗР (3 режим) армко-железа (1) и ее разложения по глубине серого оттенка.
 2 – $K = 0,902$; 3 – $K = 0,707$; 4 – $K = 0,511$.

На рисунке 4 и 5 представлены распределения микроструктурных объектов с разными коэффициентами темно-серого оттенка, где в качестве меры приняты плотность микроструктурных объектов (n) и удельная длина границ ($f_{уд}$). Указанные показатели отображают микроструктурные составляющие, ответственные за упрочнение поликристаллических материалов. Так, плотность микроструктурных объектов является аналогом плотности дислокаций, а удельная длина границ – степени развитости зеренных и субзеренных границ.

В общем случае лазерная обработка всегда приводит к повышению плотности микроструктурных объектов и удельной длины границ, но наибольшие значения характерны для структур, которые образуются в Зоне расплава. Зависимости n и $f_{уд}$ от удельной энергии и плотности теплового потока лазерного излучения носят экстремальный характер, при этом максимальные значения имеют место при коэффициенте темно-серого оттенка $K = 0,707$.

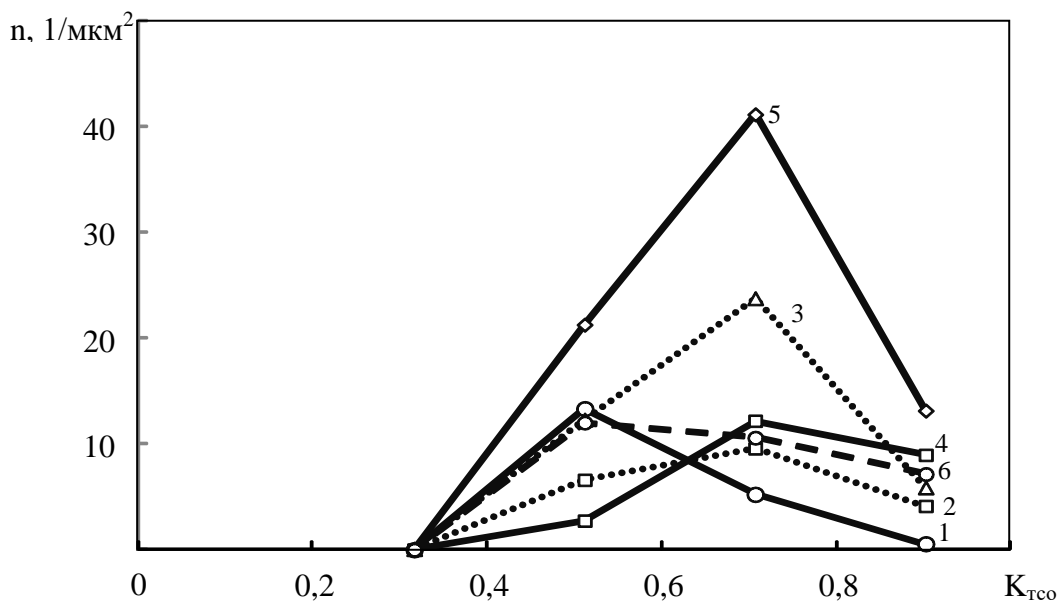


Рисунок 4 Распределение плотности микроструктурных объектов по коэффициенту. 1 – исходная сырая структура; 2 – ЗТВ (1 режим ЛО); 3 – ЗО (2 режим ЛО); 4 – ЗО (3 режим ЛО); 4 – ЗО (4 режим ЛО); 5 – ЗО (5 режим ЛО)

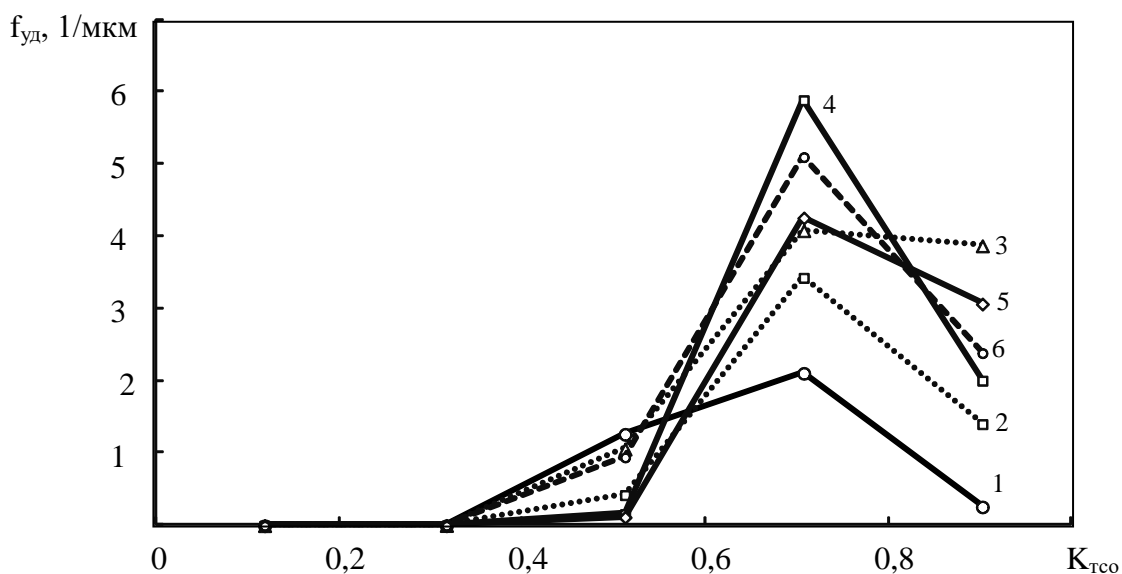


Рисунок 5 Распределение удельной длины границ зерен по коэффициенту темно - серого оттенка. 1 – исходная структура; 2 – ЗТВ (1 режим ЛО); 3 – ЗО (2 режим ЛО); 4 – ЗО (3 режим ЛО); 4 – ЗО (4 режим ЛО); 5 – ЗО (5 режим ЛО)

Сравнительный анализ распределений микроструктурных показателей подтверждает, что более эффективным барьером для торможения скользящих дислокаций и соответственно упрочнения являются границы зерен. Межзеренные границы подвержены более сильному изменению при лазерном

воздействии, при этом между приращением удельной длины границ и микротвердостью проявляется более тесная корреляционная зависимость по сравнению с приращением плотности микроструктурных объектов.

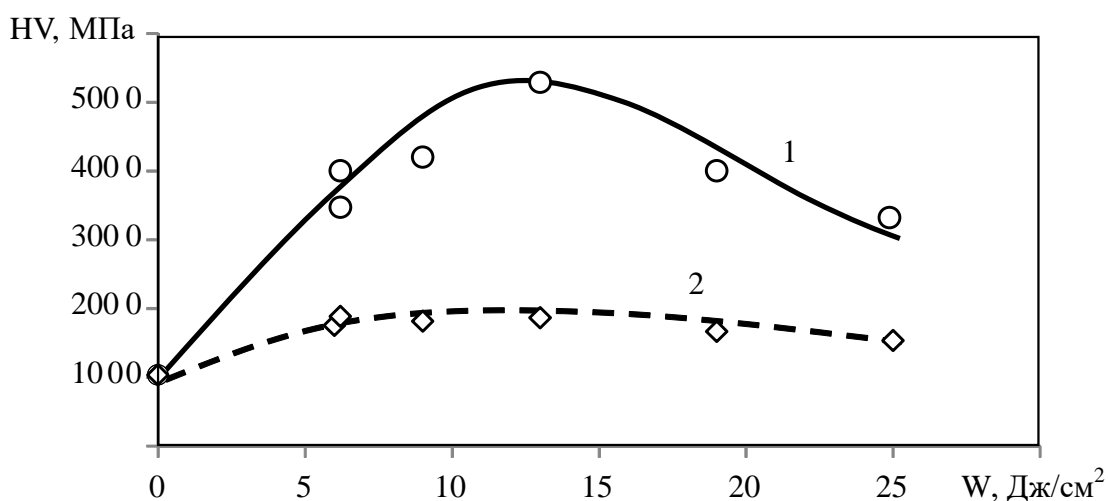


Рисунок 6 Влияние плотности энергии лазерного излучения на твердость по поверхностной структуре армко-железа. 1 – 30; 2 – ЗТВ

Режимы лазерной обработки, обеспечивающие максимальную микротвердость (рисунок 6), не совпадают с условиями, соответствующими экстремумам n и $f_{уд}$. Это указывает на то, что образование упрочненных структур представляет более сложный механизм, чем развитие дислокаций, границ зерен и субзерен. Тем не менее, предлагаемые количественные показатели структурной организации материала и методика цветовой сегментации позволяет глубже понять физические стороны процесса лазерного упрочнения и дает дополнительные показатели структурной организации материала, определяемые методом компьютерной металлографии.

На рисунке 7 представлены фотографии микроструктуры быстрорежущей стали Р6М5 в сыром и закаленном состоянии. Структура сырой стали состоит из крупных зерен легированного перлита, мелких карбидов глобулярной формы, равномерно распределенных по всему объему, и крупных карбидов неправильной формы, расположенных преимущественно по границам зерен. В структуре закаленной стали слабо просматриваются границы исходных аустенитных зерен на фоне мартенсита закалки и мелких глобулярных

карбидов. Большое количество точечных образований присутствуют в обеих микроструктурах, но в закаленной их плотность ощутимо выше, чем в сырой.

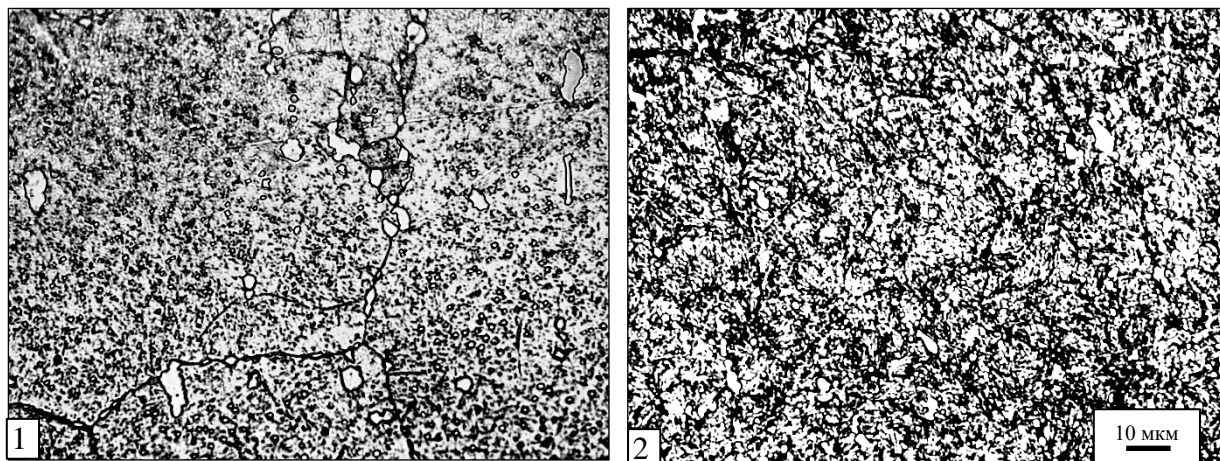


Рисунок 7 Микроструктура быстрорежущей стали в сыром (1) и закаленном (2) состоянии

На рисунок 8 и 9 приведены некоторые контрастные маски изображений, полученные путем цветовой сегментации исходных фотографий сырой и закаленной микроструктуры.

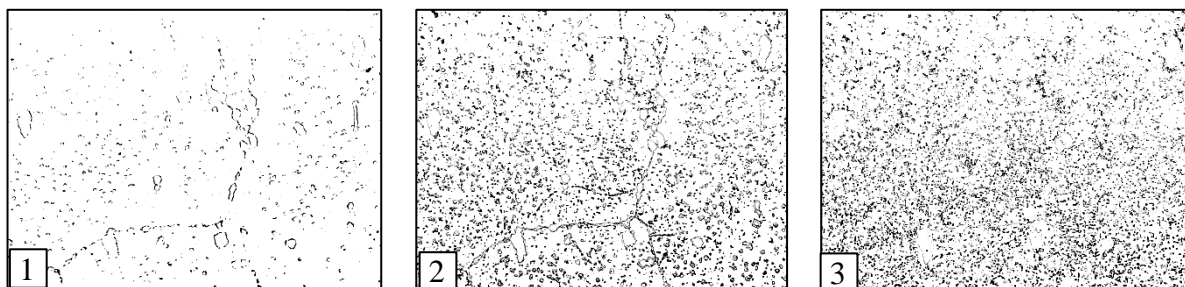


Рисунок 8 Контрастные маски изображений микроструктуры сырой стали Р6М5 с разной глубиной темно-серого оттенка. 1 – $K_{TCO} = 0,951$;
2 – $K_{TCO} = 0,755$; 3 – $K_{TCO} = 0,658$

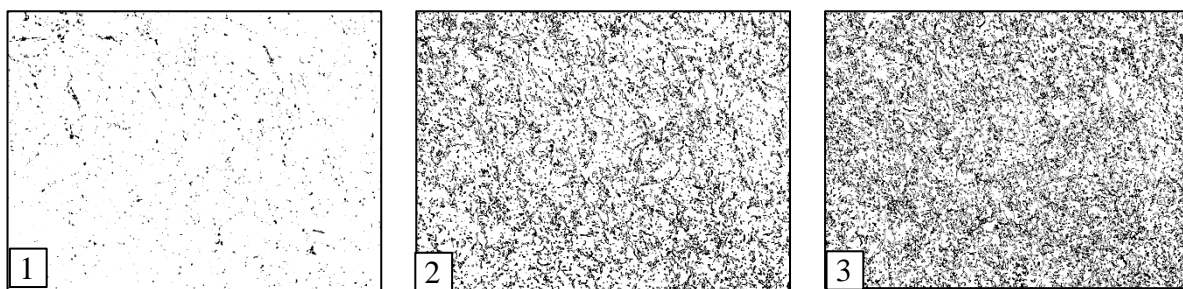


Рисунок 9 Контрастные маски изображений микроструктуры закаленной стали и Р6М5 с разной глубиной темно-серого оттенка. 1 – $K_{ТСО} = 0,951$;
2 – $K_{ТСО} = 0,755$; 3 – $K_{ТСО} = 0,658$

Микроструктурные составляющие, зафиксированные на контрастных масках, состоят из отдельных точечных объектов, площадь которых составляет $0,003...0,01 \text{ мкм}^2$. Если эти точечные объекты отнести к фигурам нулевого порядка мерности, то микроструктуры более высоких порядков представляют их упорядоченные комбинации. Распределения плотности точечных объектов для сырой и закаленной структур в зависимости от коэффициента темно-серого оттенка представлены на рисунок 10.

Структура материала является объемно распределенной, а изображение представляет ее срез в плоскости металлографического шлифа. При таком изображении микроструктуры ее составляющие теряют единицу мерности, т.е. ноль- и одномерные изображения в реальности, как правило, являются одно- и двумерными соответственно. Поля упругих напряжений в матрице вокруг дисперсных частиц второй фазы при увеличениях, соответствующих оптической металлографии, в реальности и на изображениях могут иметь вид точечных объектов [8, 9]. По изображениям точечных микроструктур невозможно выявить реальный тип дефекта, но их суммарное значение характеризует общее количество микроструктурных объектов, которые потенциально могут блокировать скольжение дислокаций и влиять на упрочнение поликристаллического материала. Таким образом, плотность микроструктурных объектов (n) является аналогом плотности дислокаций, увеличение которых приводит к повышению твердости.

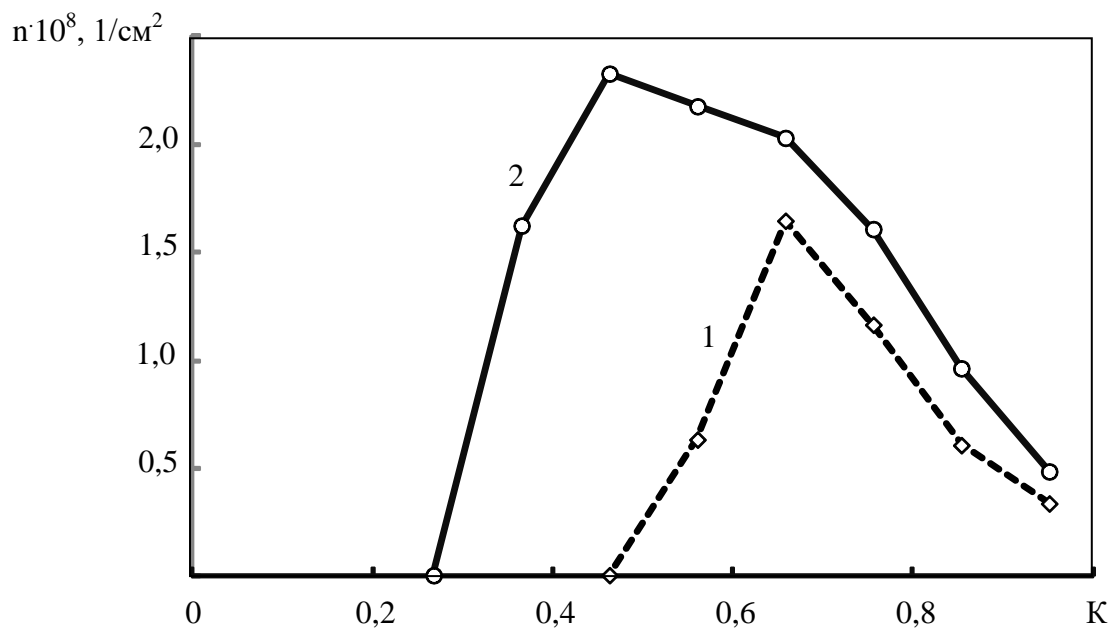


Рисунок 10 Плотность микроструктурных объектов стали Р6М6 в сыром (1) и закаленном (2) состоянии

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Применение армко-железа как эталонного материала при исследовании лазерной обработки позволяет в более чистом виде выявлять особенности развития дефектов кристаллического строения, инициированного мощными тепловыми импульсами.

2. Методика цветовая сегментация изображений микроструктур в совокупности с количественными показателями структурной организации материала открывают новые возможности компьютерной металлографии, и позволяет ранжировать микроструктурные объекты по величине их химического потенциала.

3. Лазерная обработка повышает плотность микроструктурных объектов и удельную длину границ, при этом с их ростом проявляется тенденция увеличения микротвердости.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Ким В.А., Кочетков М.С. Структурные превращения при лазерной обработке железа-армко /Упрочняющие технологии и покрытия. 2015., №7. с.13-18.