

Министерство образования и науки Российской Федерации

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

На правах рукописи

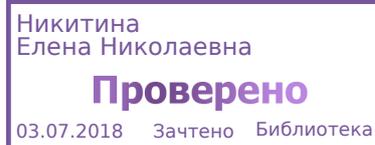
Сохибназари Бозорали

Исследование локального лазерное легирование
конструкционных сталей материалами из
дальневосточного сырья

Направление 22.04.01 – «Материаловедение и технология новых материалов»

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
на соискание академической степени магистра

2018



Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет» на кафедре «Материаловедение и технология новых материалов»

Научный руководитель:

Ким Владимир Алексеевич, доктор технических наук, профессор,
г. Комсомольск-на-Амуре

Рецензент:

кандидат технических наук,
Матвеев Дмитрий Викторович

Защита состоится « 27 » июня 2018 г. в 09 час. 00 мин. на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 22.04.01 «Материаловедения и технологии материалов» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 202/2.

Автореферат разослан « 26 » июня 2018 г.

Секретарь ГЭК

Белова Инна Валерьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Лазерное излучение создает высокоэнергетический источник, с помощью которого можно производить различные виды обработок материалов, в частности, поверхностное упрочнение, локальное легирование, поверхностную термическую обработку, раскрой листовых материалов и другие. Взаимодействие лазерного излучения с материалами, в том числе, с металлами исследуется с самого начала появления лазера, как источника теплового воздействия. Раскрыты и хорошо описаны основные структурные изменения в материалах под действием лазерного излучения. Тем не менее, в лазерных технологиях имеются ряд не решенных задач. Одна из них связана с исследованием неравновесных структур, которые всегда возникают в металлах под действием лазерного излучения.

В предлагаемой магистерской диссертации неравновесность упрочненных структур исследуется методом компьютерной металлографии. Для количественного описания неравновесных структур кроме традиционных показателей структурной организации, таких как плотность границ и средний размер зерна, были использованы фрактальные характеристики структуры, в частности мультифрактальный спектр.

Установление связи между количественными показателями неравновесных структур и прочностными свойствами поверхностей, обработанных лазерным излучением является, на наш взгляд, актуальной задачей.

Цели и задачи. Целью работы является проведение исследования структурных превращений при лазерном упрочнении и легировании быстрорежущей стали Р6М5 для повышения упрочнения ее поверхности и исследования структурообразования нержавеющей стали 12Х18Н10Т при локальном лазерном легировании графитом и порошковым покрытием из ВК8.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить такие основные задачи:

1 Анализ структурных изменений при упрочнении поверхности лазерным излучением;

2 Физические основы лазерного локального легирования конструкционных сталей;

3 Разработка уточненной методики исследования локального лазерного легирования нержавеющей аустенитной стали;

4 Основные научные и практические результаты

Методы исследования. Для решения поставленных задач и получения основных результатов диссертационной работы использовались такие современные методы исследования, как технологическая лазерная обработка, металлографические исследования, определение микротвердости, растровая электронная микроскопия, компьютерная обработка изображений, а также стандартизованные механические испытания. В случаях измерения износостойкости и микротвердости для повышения достоверности получаемые результаты усредняли по нескольким (от 3 до 8) образцам.

Научная новизна полученных результатов. В связи с тем, что инструментальные стали представляют собой пересыщенные твердые растворы, которые после закалки образуют неравновесные мартенситные структуры, и даже при кратковременном нагреве выше температуры плавления выделяют избыточные фазы в виде карбидов, интерметаллидов и химических соединений, приводящих к необратимым структурным изменениям матрицы и потере твердости. В данной работе проведен комплекс теоретических и экспериментальных исследований, направленных на обеспечение требуемых характеристик поверхности режущего инструмента с использованием лазерного излучения. реализованы практические условия поглощения энергии лазерного излучения и повышение эффективности лазерной обработки в структурных

превращениях, совмещающих жидкофазную закалку с последующей обработкой холодом.

Практическая значимость работы. Разработаны рекомендации по исследованию структурных превращений при лазерном упрочнении и легировании быстрорежущей стали Р6М5 для повышения упрочнения ее поверхности и исследования структурообразования нержавеющей стали 12Х18Н10Т при локальном лазерном легировании.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования диссертации, сформулирована цель работы и определены основные задачи исследований, отмечена научная новизна.

В первой главе изложены теоретические основы лазерной обработки поверхностей, включающие в себя: Физические основы лазерного локального легирования конструкционных сталей, Минеральное сырье для локального лазерного легирования.

Вторая глава описывает методики исследования:

1 Физический и механический свойства исследуемых материалов

Большие потенциальные возможности создания поверхностных структур с различными физико-механическими свойствами заложены в лазерной обработке материалов на режимах, вызывающих локальное оплавление.

2 Методика лазерной обработки

Лазерная обработка осуществлялась с помощью технологического импульсного лазера LRS-300, создающего инфракрасное излучение с длиной волны $\lambda = 1,06$ мкм.

Различные режимы лазерного излучения обеспечивались подбором напряжения накачки квантрона U , длительности импульса t , формой распределения плотности энергетического потока на пятне воздействия и частотой следования импульсов f .

Допустимое значение энергии импульса отображается цифрами желтого цвета, предельно допустимое значение – розовым, и критическое значение - красным. Там же на дисплее указывается процентное значение энергии от допустимой величины. Предельно допустимые значения энергий можно использовать только в режиме одиночных разрядов. Критические значения использовать нежелательно.

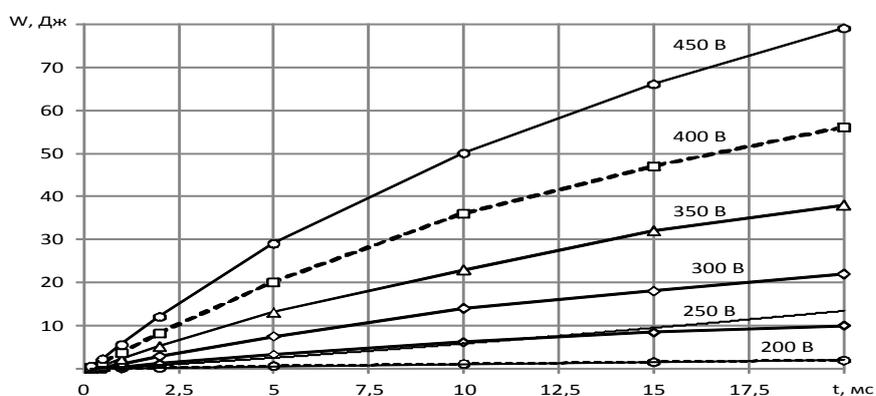


Рисунок 2.1 - Влияние напряжения накачки квантрона (U) и длительности импульса (t) на энергию единичного лазерного импульса

На рисунке 2.2 показано влияние напряжения накачки квантрона и длительности импульса на мощность единичного лазерного импульса.

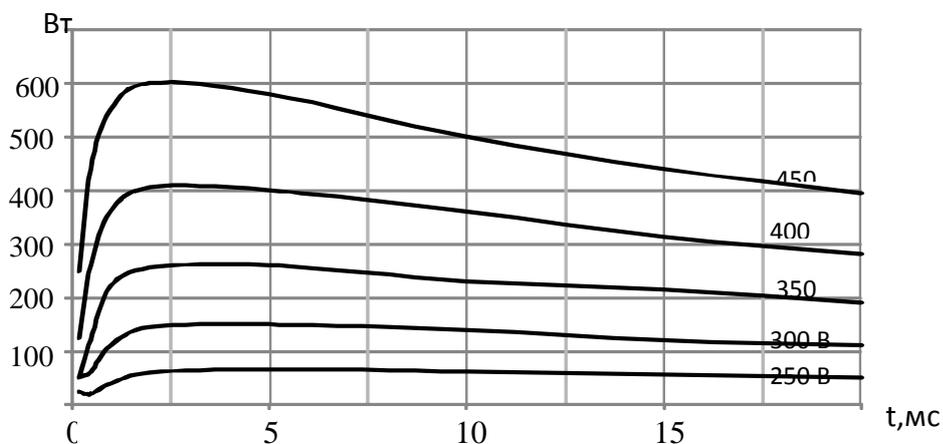


Рисунок 2.2 - Влияние напряжения накачки квантрона (U) и длительности импульса (t) на мощность единичного лазерного импульса

3 Методика подготовки и фотографирования металлографических шлифов

Анализ изображений микроструктур является важным и наглядным способом структурного анализа, зависящим от качества подготовки поверхности шлифа и его травления. Поверхность шлифа, подготовленная для травления должна обладать высокой плоскостностью, низкой шероховатостью (зеркальностью) и отсутствием на ней глубоких царапин, невидимых при увеличении в 200 крат.

Отрезка образцов для приготовления металлографического шлифа производилась на специальных отрезных станках Delta AbrasiMet или Isomet-1000 в зависимости от исходной формы и размера детали.

Затем образец заливался в капсулу цилиндрической формы специальным быстротвердеющим пластиком. Шлифовка и полировка исследуемой поверхности производилась на станке EcoMet-250 с соблюдением режимов в зависимости от химического состава и механических свойств материала. Травление полированной поверхности шлифа осуществлялось реактивом, состав которого и время травления назначалось в зависимости от исследуемого материала и требуемого анализа.

Цифровые изображения микроструктур получали с помощью металлографических микроскопов Nikon MA-200. Кратность увеличения определялась исходя из требуемого анализа.

Микротвердость измерялась с помощью микротвердомера НМV-2 (Shimadzu) по шкале Виккерса (HV). Согласно этой методике алмазная четырехгранная пирамида вдавливается в исследуемую поверхность с определенной силой P и выдерживается в напряженном состоянии некоторое время t. На основании замера геометрических размеров отпечатка вычисляется твердость по шкале HV, как отношение усилия вдавливания на площадь поверхности отпечатка. Формула для расчета

$$HV = 1,854 \frac{P}{d^2}$$

Программа, установленная на микротвердомере НМV-2 вычисляет значение микротвердости в единицах кг/мм².

4 Методика компьютерной металлографии

Компьютерная обработка изображений требует предварительность подготовки, которая включает следующие процедуры:

- корректировку резкости и контрастности;
- снятие контрастной маски;
- выделение границ зерен;
- калибровку изображения (приведение кратности увеличения и масштаба изображения);
- определение геометрических показателей каждого микроструктурного объекта, в частности, количество микроструктурных объектов на одном изображении (N), периметра (P_i), площади (F_i) и фрактальной размерности границ (D_i) каждого микроструктурного объекта.

Третья глава. Результаты исследования и их анализ:

3 Состояние поверхностного слоя, сформированного при импульсной лазерной обработке сталей и чугунов

Исследовались поверхности, сформированные импульсным лазерным воздействием на образцы из железа-армко, быстрорежущей стали и высокопрочного чугуна.

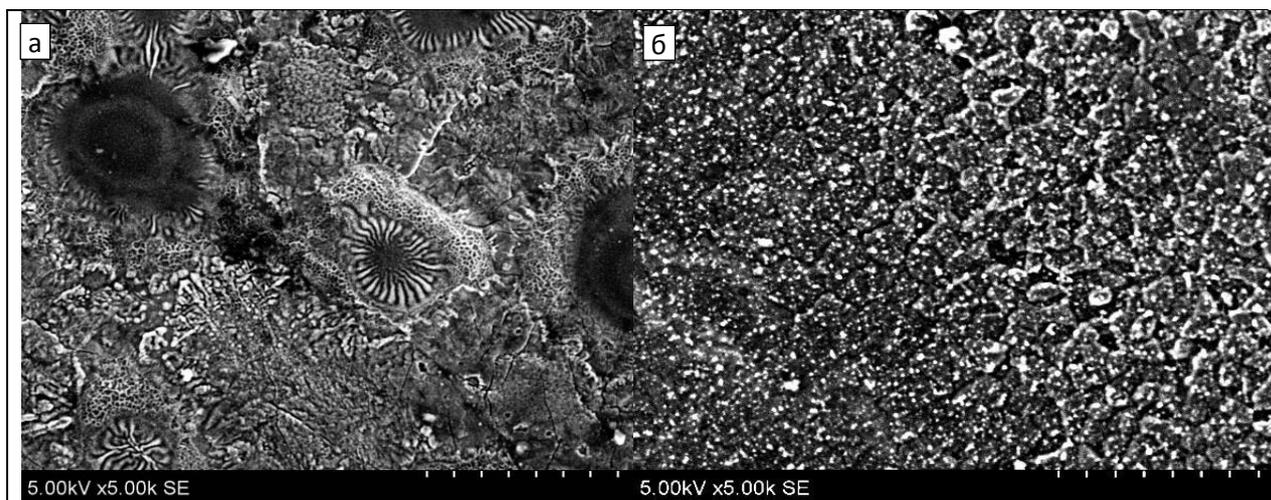
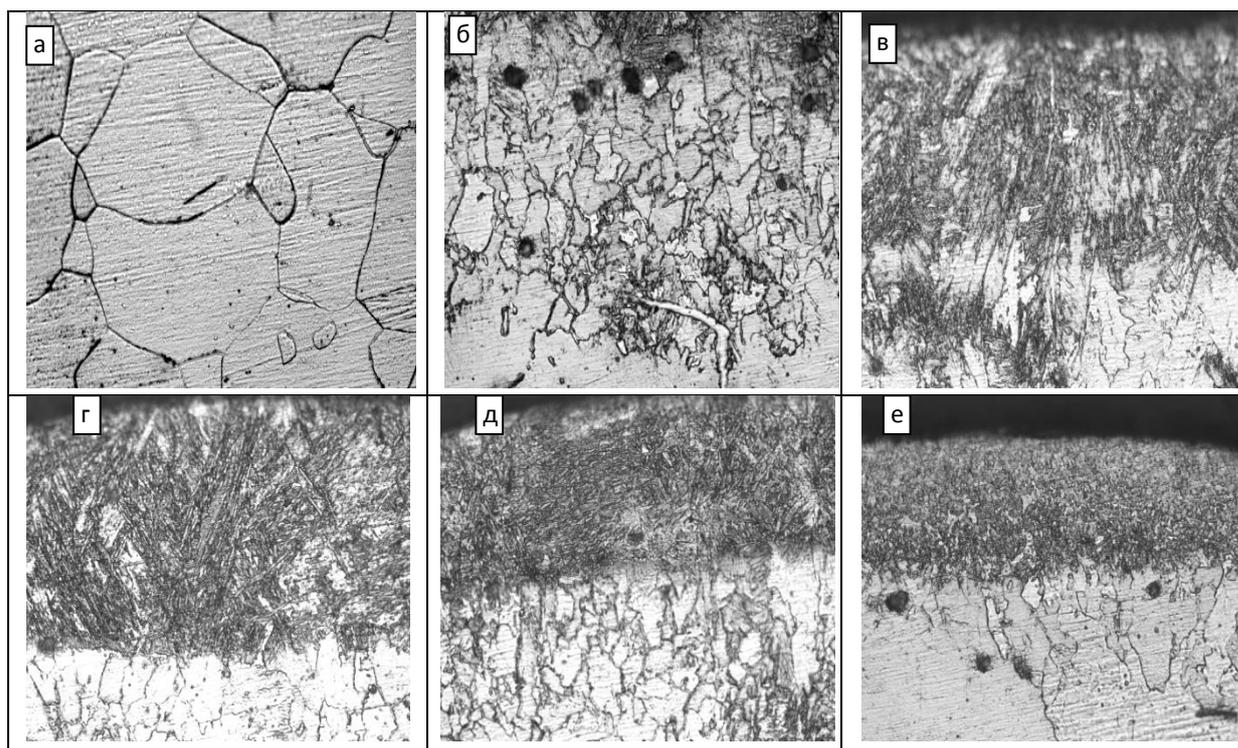


Рисунок 1 - Поверхности железа-армко (а) и быстрорежущей стали Р6М6К5 (б) на пятне лазерного воздействия, сформированные из оплавленного слоя с турбулентными массовыми потоками

На поверхности образца из Р6М5К5 также присутствуют мелкие столбчатые дендриты, объединенные в колонии в виде замкнутых цепочек неправильной формы.

2 Мультифрактальный анализ структурных превращений железа-армко при лазерной обработке

Микроструктура, сформированная лазерным воздействием, отличается повышенной неравновесностью, неоднородностью и неупорядоченностью. Для исследования неравновесных структур в качестве модельного материала удобно пользоваться железом-армко. Малое содержание графита в этом сплаве позволяет в чистом виде проследить характер структурных превращений без учета закалочных процессов.



Рисунке 2.1 - Различные микроструктуры армко-железа после лазерной обработки. а – исходная; б – ЗТВ (1 режим); в – ЗР (2 режим); г – ЗР (3 режим); д- ЗР (4 режим); е – ЗР (5 режим).

На рисунке 2.1 приведены микроструктуры армко-железа в исходном состоянии и после лазерной обработки на различных режимах. Первый

режим лазерной обработки обеспечивал структурные превращения в твердофазной области. Другие режим вызывали оплавление поверхностного слоя, поэтому на фотографиях микроструктур четко выделяется слой, сформированный закалкой из жидкой фазы и зоны термического влияния (ЗТВ).

В таблице 2.1 приведены значения комплексных мультифрактальных показателей микроструктур после лазерной обработки.

Таблица 2.1 - Значения мультифрактальных показателей микроструктур после лазерной обработки

Показатель	Исходная структура	Удельная энергия лазерного воздействия W , М Дж/м ²				
		1	2	4	6	7,9
Δ_{40}	0,00	0	0	0	0	0,0
α_{40}	1,99	1	1	1	1	1,8

По характеру изменения мультифрактальных спектров можно заключить, что структурные изменения в результате воздействия лазерного излучения протекают по единым алгоритмам, отличаясь незначительно на количественном уровне.

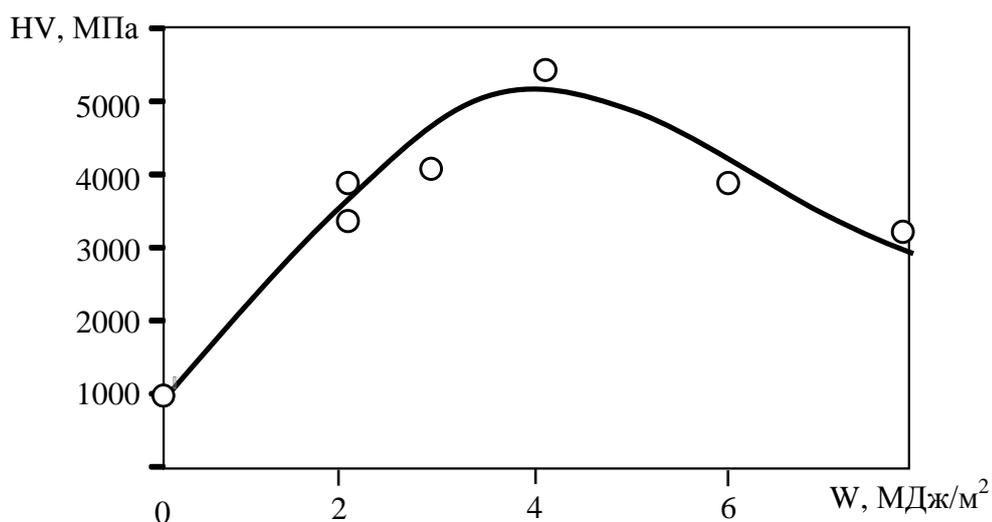


Рисунок 2.2 - Влияние удельной энергии лазерного излучения на твердость поверхностной структуры армко-железа

На рисунке 2.2 приведено влияние на микротвердость упрочненного поверхностного слоя удельной энергии лазерного воздействия.

Представленные микроструктуры отличаются от микроструктур, полученных чистым лазерным воздействием. Четко выявляется зона оплавления, кристаллизация которой происходила в высокоскоростном режиме. При этом принципиальных отличий при использовании порошка ВК8 и Т15К6 не обнаружено.

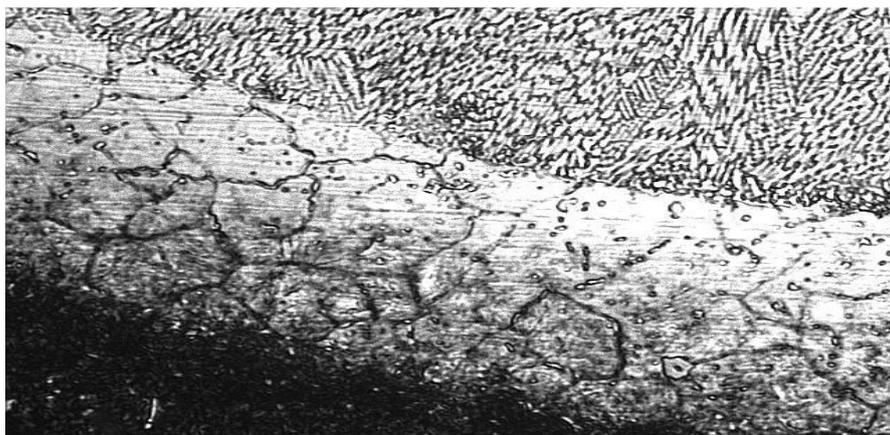


Рисунок 2.3 – Микроструктура локального лазерного легирования порошком ВК8

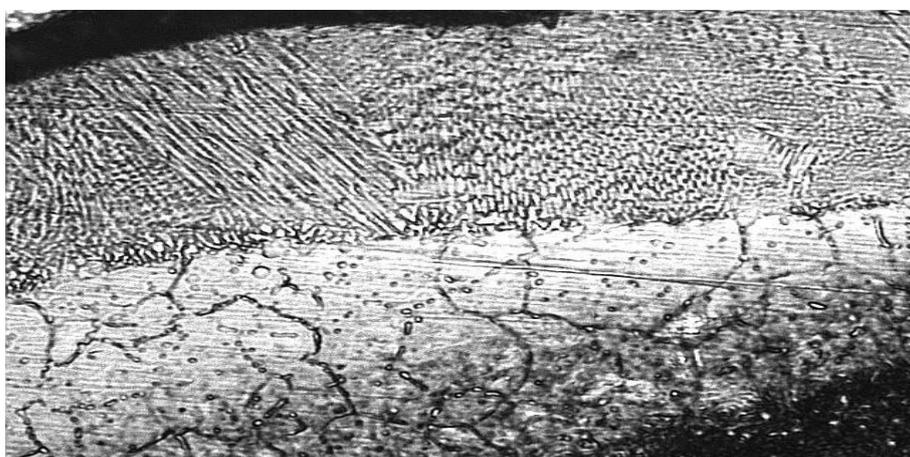


Рисунок 2.4 – Микроструктура локального лазерного легирования порошком Т15К6

При рассмотрении особенностей структурной организации микроструктуры, сформированной из жидкофазного состояния, даются сравнительные характеристики исходной микроструктуры (до лазерного легирования) и структуры, полученной в результате высокой скорости

нагрева и малого период времени нахождения материала в расплавленном состоянии при импульсном воздействии лазерного луча.

3 Лазерная цементация нержавеющей стали аустенитного класса

Лазерный луч представляет высококонцентрированный энергетический источник, наводящий в твердых телах неоднородные динамические температурные поля. На рисунке 3.3.1 показана в качестве примера типичная микроструктура, полученная при лазерной цементации при удельной энергии излучения $E = 811,62 \text{ Дж/см}^2$, где четко выявляется ее слоистое строение, при этом каждый слой имеет свою структурную индивидуальность.

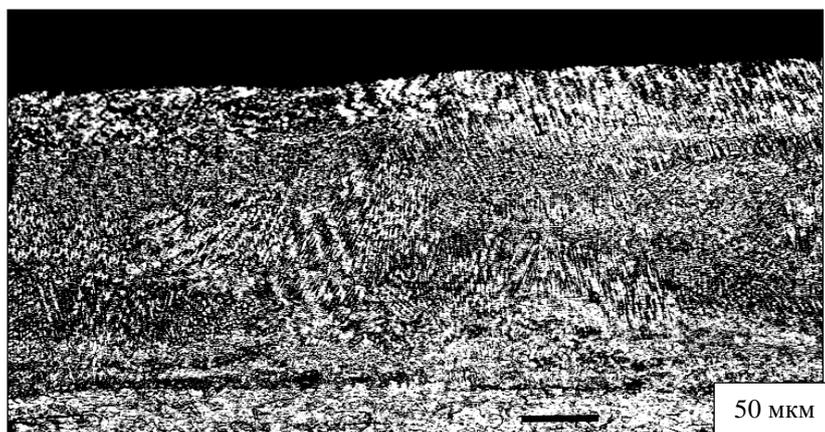


Рисунок 3.1 - Микроструктура поверхностного слоя после лазерной цементации нержавеющей стали 12X18H10T при удельной энергии лазерного излучения $E = 811,62 \text{ Дж/см}^2$

Таблица 3.1 - Количественные показатели структурной организации различных зон упрочненного слоя

<i>Зона строения упрочненного слоя</i>	<i>Удельная длина границ $q_{уд}$, 1/мкм</i>	<i>Относительная площадь темных объектов k_T</i>
<i>Зона конвекционного массопереноса</i>	<i>0,355 -1,346</i>	<i>0,846 -0,945</i>
<i>Зона дендритов I порядка</i>	<i>1,686 – 2,045</i>	<i>0,465 -0,489</i>

<i>Зона дендритов II порядка</i>	<i>1,369 – 1,786</i>	<i>0,556 -0,895</i>
<i>Зона термического влияния</i>	<i>2,551 – 2,751</i>	<i>0,394 – 0,493</i>
<i>Исходная структура</i>	<i>2,035 – 2,269</i>	<i>0,282 – 0,385</i>

По ходу границ в первую очередь формируются зоны с повышенной концентрацией углерода и зародыши карбидов легирующих металлов, которые образуют различные концентраторы напряжений и повышают свободную энергию границ. В таблице 3.1 приведены количественные показатели структурной организации различных зон упрочненного слоя.

Последовательность расположения зон от поверхности вглубь соответствует их положению по вертикали, приведенному в таблице 3.1. Диапазоны изменения количественных показателей связаны с режимами лазерного воздействия и размерами образующихся микроструктурных составляющих. С повышением размеров микроструктурных объектов рассматриваемые количественные показатели принимают меньшие значения. С повышением энергии лазерного воздействия удельная длина границ и относительная площадь темных объектов возрастают.

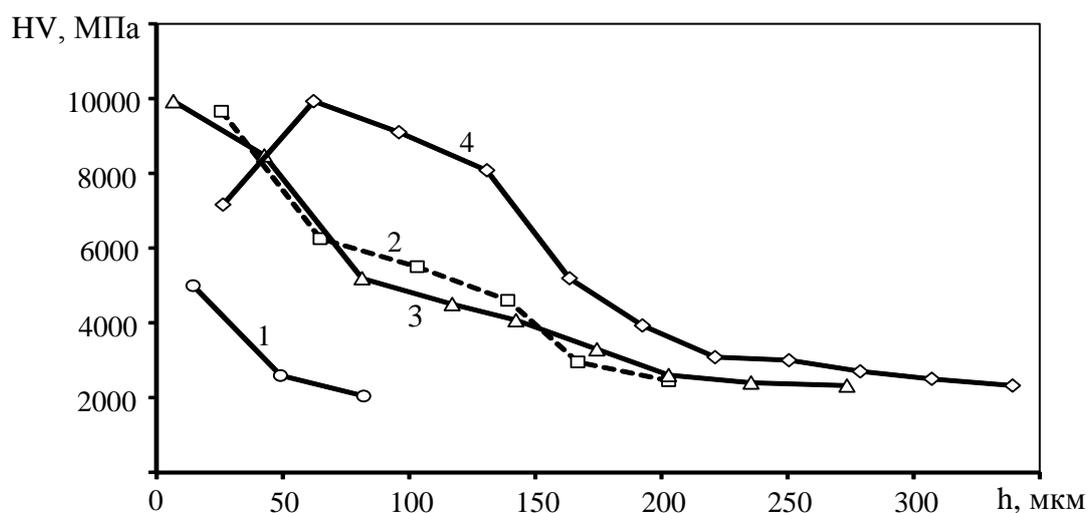


Рисунок 3.2 - Распределение микротвердости в поверхностных слоях после лазерной цементации нержавеющей стали 12Х18Н10Т

На рисунке 3.2 приведено распределение микротвердости в поверхностных слоях после лазерной цементации на различных режимах излучения. Анализ показывает, что между микротвердостью и относительной площадью темных микроструктурных объектов, образованных при лазерной цементации, наблюдается тесная связь. Это подтверждает, что упрочнение определяется величиной свободной энергии структурного состояния материала.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате обобщения выполненных теоретических и экспериментальных исследований в магистерской диссертационной работе решена научно-техническая задача, имеющая важное значение для машиностроения и заключающаяся в комплексном исследовании закономерностей структурообразования различных покрытий на стали 12X18H10T при локальном лазерном воздействии, определении основных свойств легированных слоев, возможностей управления процессом упрочнения, структурным изменением быстрорежущей стали Р6М5 при лазерной обработке и дополнительной обработке холодом.

Итог научных исследований, изложенных в магистерской диссертации, можно сформулировать в виде следующих общих выводов:

- 1 Анализ структурных изменений при упрочнении поверхности лазерным излучением;
- 2 Физические основы лазерного локального легирования конструкционных сталей;
- 3 Разработка уточненной методики исследования локального лазерного легирования нержавеющей аустенитной стали;
- 4 Основные научные и практические результаты