

мер: вакуумная цементация (при температуре ХТО структура диффузионного слоя: дисперсные включения карбидов в аустените).

4. Если насыщающий элемент ограничено растворим в основном металле и при температуре ХТО формируется пересыщенный по насыщающему элементу твердый раствор, то при старении происходит его распад с выделением изолированных дисперсных кристаллов фазы более богатой насыщающим элементом. Пример: старение зоны внутреннего азотирования сталей, легированных нитридообразующими элементами (структура диффузионного слоя: дисперсные включения нитридов в феррите).

УДК 535.21:621.357.77

## **РАЗМЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧАСТИЦ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ МЕТАЛЛОВ В ЖИДКОСТИ**

*Лешик С.Д., Шупан П.И., Сергиенко И.Г.*

Гродненский государственный университет имени Янки Купалы Гродно, Республика Беларусь

В связи с возросшим интересом к свойствам объектов нанометрового масштаба в последние десятилетия активно исследуются процессы, протекающие при лазерном воздействии на вещество. Вследствие взаимодействия лазерного излучения с веществом часть материала мишени удаляется в окружающую среду. Известно, что наночастицы практически любого материала образуются при воздействии на него достаточно мощного лазерного импульса. Лазерная абляция твердых мишеней, погруженных в жидкость, является известным способом получения различных наночастиц [1].

В зависимости от интенсивности лазерного излучения продуктами абляции могут быть атомы, ионы, молекулы вещества, а также сформированные кластеры и наночастицы, вылетающие из зоны воздействия с высокой кинетической энергией. Аблированные при высокой температуре атомы вещества могут взаимодействовать с молекулами окружающей среды с образованием новых соединений [2]. Если окружающей средой является жидкость, тогда возможно получать кинетически устойчивые коллоидные растворы. Лазерная абляция представляет интерес как с точки зрения формирования структур на поверхности мишени, так и с точки зрения образования наночастиц.

Материалами облучаемых мишеней при ИЛА являлись никель и цинк. В качестве жидкой среды, в которой осуществлялась абляция, использовали дистиллированную воду. Абляцию осуществляли с помощью неодимового лазера LS-2147 при различных режимах: абляция никеля при длине волны 532 нм., энергии в импульсе 30 мДж.; абляция цинка при длине волны 1064 нм., энергии в импульсе 10 мДж. Импульсы следовали с частотой 10 Гц; количество импульсов – 18000. Мишени находились под слоем дистиллированной воды на глубине 8 мм.

С целью получения данных о размерных характеристиках и общем виде продуктов абляции пробы суспензий в виде капель наносились на подложку из кварцевого стекла. После высыхания суспензии образцы изучали на атомно-силовом микроскопе NT-206: сканирование осуществлялось на воздухе, при нормальных условиях и комнатной температуре с использованием кантилевера CSC 38/AIBS жесткостью 0,03 Н/м.

На рисунке 1 представлены изображения частиц, полученные в результате ИЛА никеля и цинка в дистиллированной воде.

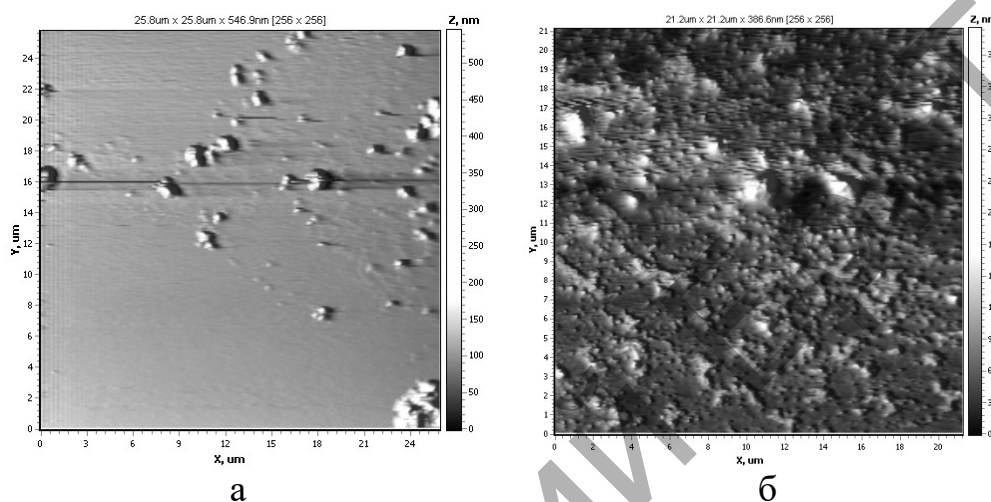


Рисунок 1 – АСМ-изображения частиц, полученных импульсной лазерной абляцией никеля (а) и цинка (б) в дистиллированной воде

На изображениях видны как скопления наноразмерных частиц, так и достаточно крупные конгломераты субмикронного и микронного уровней. Очевидно, что при лазерной абляции металлов происходит взаимодействие газов, растворенных в жидкости, с окружающей средой, вследствие чего наночастицы окисляются из-за большой удельной поверхности [3].

Известно, что при столкновении продуктов лазерной абляции никеля с водой на поверхности происходит кристаллизация. Кинетическая теория кристаллизации рассматривает много факторов которые определяют процесс образования зародышей. Вероятность того или иного механизма зарождения связана с величиной переохлаждения системы, материалом подложки, с толщиной конденсата, с углом смачивания, плотности налетающих частиц и т. д. [4].

Процентное распределение размерных характеристик частиц, полученных в результате ИЛА никеля и цинка, представлено на рисунках 2 и 3.

Установлено, что основное количество нанопродуктов, образующихся при импульсной лазерной абляции никеля с длиной волны 532 нм, представляют собой частицы (конгломераты частиц) размером до 40-60 нм (по оси Z на АСМ-изображениях). Наличие крупных частиц объясняется агломерацией более мелких, однако их доля (более 100 нм.) не превышает 5%. При импульсной лазерной абляции цинка с длиной волны 1064 нм основная доля частиц приходится на размеры от 20 до 60 нм доля более крупных частиц составляет не более 2%.

Таким образом, импульсной лазерной абляцией никеля и цинка в дистиллированной воде возможно получение частиц нанометрового размерного уровня. Использование атомно-силовой микроскопии позволяет определять размерные характеристики продуктов абляции.

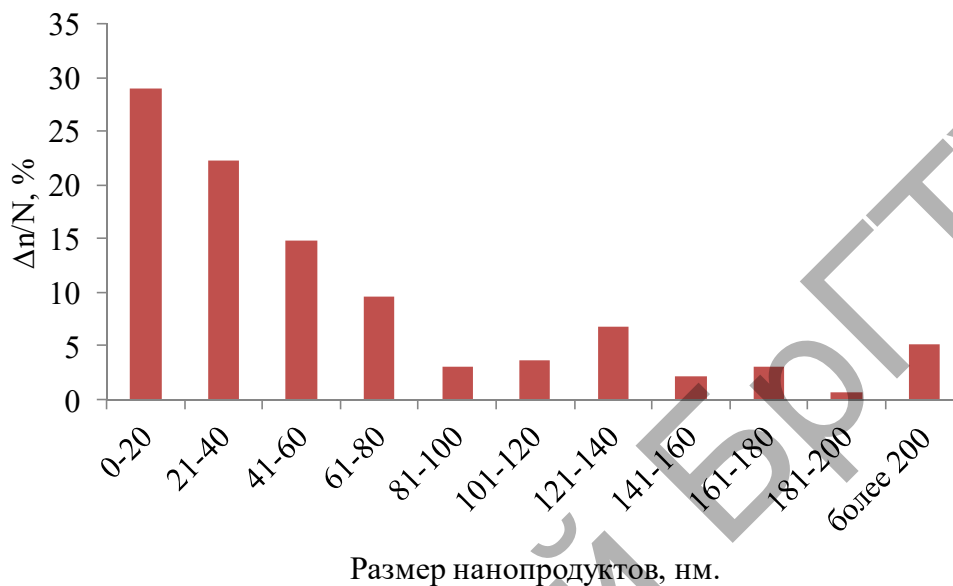


Рисунок 2 – Гистограмма распределения частиц, полученных при лазерной абляции никеля в дистиллированной воде, по размерам, %

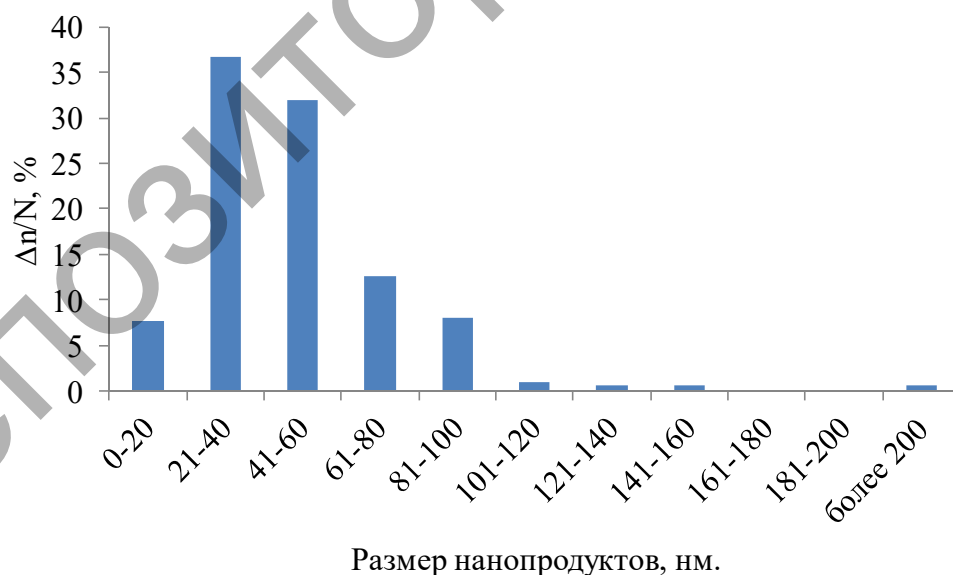


Рисунок 3 – Гистограмма распределения частиц, полученных при лазерной абляции цинка в дистиллированной воде, по размерам, %

Результаты данной работы могут быть использованы при разработке технологических и теоретических рекомендаций по получению жидкостей,

содержащих частицы наноразмерного уровня, с заданными характеристиками методом импульсной лазерной абляции металлических материалов.

Работа выполнена в рамках задания 2.25 Государственной программы научных исследований «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии».

#### **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Кузьмин, П. Г. Физические процессы, определяющие свойства наночастиц, полученных при лазерной абляции твердых тел в жидкости: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.21 / П.Г. Кузьмин; ИОФ им. А.М. Прохорова РАН. – Москва, 2015. – 144 с.

2. Пячин, С.А. Новые технологии получения функциональных наноматериалов: лазерная абляция, электроискровое воздействие / С.А. Пячин, М.А. Пугачевский // Хабаровск, 2013 – 38 с.

3. Сидоровнина, Т. Ю. Лазерная абляция металлов в жидкости. [Электронный ресурс] / Т.Ю. Сидоровнина, В.А. Тимошенко, А.Н. Савкин, Ю.В. Голубенко // Труды Всероссийской научно-технической конференции «Студенческая весна 2014: Машиностроительные технологии». – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана.

4. Гончаров, В.К. Формирование коллоидных растворов металлов в воде методом лазерной абляции / В.К. Гончаров, Козадаев, М.И. Маркевич, М.В. Пузырев, А.М. Чапланов // Актуальные проблемы физики твердого тела: сб. докл. Междунар. науч. конф., 20-23 окт. 2009 г., Минск. В 3 т. – Т. 3. редкол.: Н.М. Олехнович (пред.) [и др.]. – Минск: Изд. центр БГУ, 2009. – 406 с.

УДК 621.791.72

### **МИКРОТВЕРДОСТЬ И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ НАПЛАВЛЕННЫХ ЛАЗЕРОМ ВАЛИКОВ ИЗ СПЛАВА ЦГ-12Н-01**

*Девойно О.Г., Кардаполова М.А., Луцко Н.И., Лапковский А.С.*

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

Лазерная наплавка – это технология создания покрытий из материалов разной природы на металлической подложке с использованием в качестве источника энергии лазерного луча [1-4]. Это гибкая технология, которая позволяет нанести покрытие из порошка подаваемого транспортирующим газом в ванну расплава, образуемую на поверхности основы лазерным лучом. Данная технология может использоваться как для упрочнения новых, так и для восстановления изношенных или поврежденных поверхностей. В противоположность традиционным методам наплавки зона теплового воздействия при лазерной наплавке ограничена несколькими миллиметрами, по этой причине зона термических напряжений также невелика, деформации минимальны, а механические характеристики основы практически не изменяются.

Исходя из вышесказанного, лазерная наплавка является весьма перспективным методом нанесения покрытий. Осуществление процесса лазерной наплавки предъявляет высокие требования к качеству покрытий, которое характеризуется такими параметрами как микроструктура, распределение микротвердости и состав покрытия.