

Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , золь-гель, 800 °С	8,084	400		
CoO <sub>x</sub> , ультразв., высушенный при 20°С ксерогель	смесь оксо- и гидрокси-соединений кобальта			
Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , ультразв., 300 °С, 2 ч		2 – 3		
Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , ультразв., 600 °С, 2 ч		5 – 6		
CoO, золь-гель, 920 °С		40 – 50		
CoO, ультразв., 920 °С		40 – 50		
Состав и условия отжига	а, нм	с, нм	ОКР, нм	S, м <sup>2</sup> /г
CoOОН, осаждение, высушенный при 20°С гидрозоль	2,881	13,16	4 ÷ 5	74 ÷ 85
CoOОН, осаждение, 180 °С, 2 ч	2,86	13,233	5 ÷ 6	110
CoOОН, ультразв. синтез, высушенный при 20°С гидрозоль	2,866	13,199	5	115
CoOОН, ультразв. синтез, 180°С, 2 ч	2,87	13,210	6	85

**Выводы.** Ультразвуковой синтез оксидов вольфрама (WO<sub>3</sub>) и кобальта (Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, CoO) является эффективным способом получения нанодисперсных поликристаллических материалов. По сравнению с традиционным золь-гель методом ультразвуковой синтез позволяет получить материалы с большей удельной поверхностью и меньшим эквивалентным диаметром частиц, что изменяет ширину запрещённой зоны и энергию активации проводимости. Такие изменения приводят к росту газовой чувствительности и снижением рабочей температуры датчиков. В случае синтеза CoOОН ультразвуковое воздействие не оказывает существенного воздействия на размер и морфологию получаемых частиц.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Vijaya K. Rangari, Tarig A. Hassan, Quentin Mayo and Shaik Jeelani. Effect of ultrasound on tungsten oxide nanoparticles and its applications in epoxy nanocomposites. Proceeding of 16th international conference on composite materials, June 22 – 26, 2014, Seville, Spain. – P. 1 – 5.

УДК 621.793

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СКАНИРУЮЩЕЙ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ЧУГУННЫХ ДЕТАЛЕЙ

*Девойно О.Г.<sup>1</sup>, Жарский В.В.<sup>2</sup>, Кардаполова М.А.<sup>1</sup>, Пилипчук А.П.<sup>3</sup>*

1) Белорусский национальный технический университет,

2) 000 «Рухсервомотор», 3) Военная академия Республики Беларусь,  
г. Минск, Беларусь

В промышленности все более широкое распространение получают новые технологии, использующие в качестве инструмента высококонцентрированные источники нагрева, к которым относится и технология лазерной поверхностной термообработки. Появление мощных твердотельных лазеров, в частности оп-

товолоконных, позволило вывести лазерную технологию на качественно новый уровень.

Это касается, в первую очередь, высокой надежности таких установок по сравнению с газовыми лазерами. Во-вторых, практически сняты ограничения по мощности излучения. В-третьих, возможность транспортировки мощного излучения через оптоволокно значительно облегчает как конструктивные задачи при создании технологических лазерных комплексов, так и многие технологические проблемы.

Существенный прогресс в лазерной технологии обеспечивает использование сканирующих оптических систем, суть которых заключается в следующем. Генерируемый в оптоволоконном лазере луч, транспортируется через оптоволокно в специальную оптическую головку. Проходя через коллиматор, он преобразуется в параллельный пучок, а затем направляется на два зеркала, встроенных в сканирующие однокоординатные системы, обеспечивающие программно согласованное сканирование во взаимно перпендикулярных направлениях.

Далее луч через фокусирующую и поворотную оптику транспортируется в зону обработки. Учитывая, что твердотельные лазеры позволяют менять мощность излучения с очень высокой скоростью, появилась возможность программного изменения мощности в течение каждого цикла сканирования, что, в свою очередь, обеспечивает возможность привнесения высокой частоты сканирования рисования «псевдопятна» с требуемым распределением энергии по его площади. Управляя распределением энергии по сечению пятна можно получить требуемую конфигурацию тепловых полей и, соответственно, управлять процессами в поверхностных слоях, протекающих в процессе лазерного воздействия. Это касается как аспектов повышения производительности обработки, так механизма перемешивания ванны расплава вследствие реализации «термокапиллярного эффекта». Эффективное управление процессами лазерного упрочнения в случае применения лазерной сканирующей обработки невозможно без предварительных теоретических оценок формируемых при такой обработке тепловых полей.

В настоящее время при моделировании процессов лазерной обработки для представления распределения интенсивности лазерного излучения по сечению лазерного пятна наиболее часто используются упрощенные представления распределения интенсивности лазерного излучения, в первую очередь, аппроксимация лазерного излучения функцией равномерного распределения или аппроксимация функцией Гаусса. Это связано с возможностью аналитического описания указанных функций. Данные способы упрощения в общем случае немонокотного излучения неточно описывают реальный поток мощности, что подтверждают представленные в работах [1] результаты. Учет реально формируемых распределений энергии в зоне воздействия лазерного луча, как правило, требует использования численных методов расчета [2].

Более точный учет распределения энергии по сечению «псевдопятна» лазерного воздействия при аналитическом решении возможен путем представления

моделей распределения интенсивности излучения немонотонного поверхностного источника в виде многообразия сдвигов базисной функции. Отправным пунктом предлагаемого представления являются работы американского ученого Н. Винера, развитые в дальнейшем математиком Ахиезером [3]. В работах доказана возможность аппроксимации произвольной функции математической конструкцией  $W(x, N)$  вида

$$W(x, N) = \sum_{n=1}^N A_n \cdot F(x - \lambda_n) \quad (1)$$

которая, по сути, является линейным многообразием сдвигов  $N$  базисных функции  $F(x)$ . Данное аналитическое представление полностью определено вектором параметров, составленным из коэффициентов разложения  $\{A_n\}_N = \{A_1, \dots, A_N\}$  и величин соответствующих сдвигов  $\{\lambda_n\}_N = \{\lambda_1, \dots, \lambda_N\}$ , которые были использованы при разработке методики оценки немонотонного распределения интенсивности лазерного излучения [4].

В качестве примера оценки влияния распределения энергии в «псевдопятне» лазерного воздействия на форму тепловых полей рассматривалось два варианта (рисунок 1).

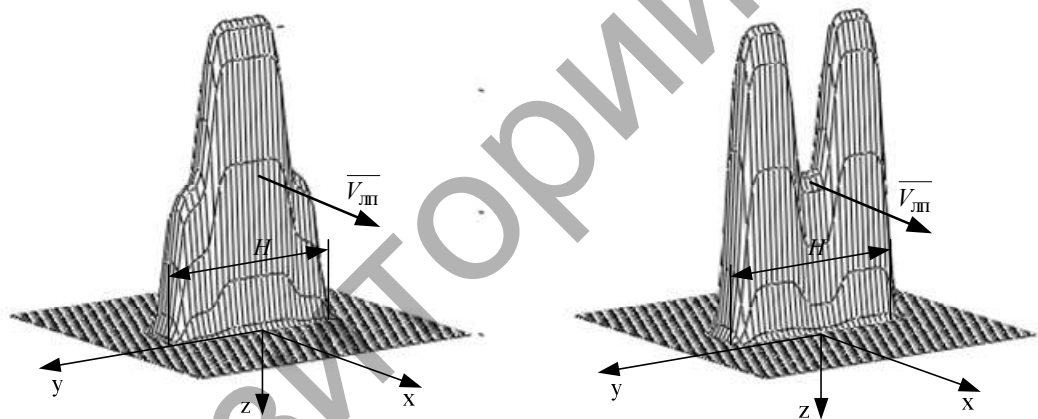


Рисунок 1 – Варианты распределения энергии в псевдопятне лазерного воздействия при сканирующей лазерной обработке.

Результаты численных оценок для сканирующей лазерной обработки чугуна ВЧ50 при мощности излучения 1,2 кВт, частоте сканирования 220 Гц представлены на рисунке 2. Важной особенностью сканирующей лазерной обработки с использованием оптоволоконных лазеров для поверхностного упрочнения является существенное повышение производительности обработки по сравнению с обработкой излучением CO<sub>2</sub> лазеров. На рисунке 3 представлены результаты оценки производительности лазерного термоупрочнения для разных вариантов упрочнения. Как видно из представленных данных, использование лазерной сканирующей обработки обеспечивает повышение производительности обработки от 3 до 5 раз. Учитывая, что коэффициент полезного действия газовых лазеров составляет 8-10%, а оптоволоконных 25-30 %, становится очевид-

ным, что энергоэффективность лазерной сканирующей обработки выше в 10 - 12 раз, по сравнению с использованием излучения CO<sub>2</sub> лазера.

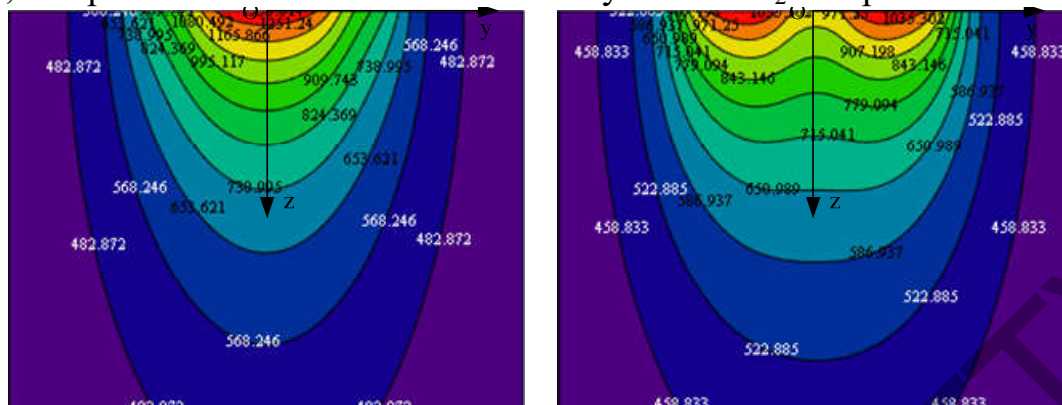


Рисунок 2 – Формы распределения тепловых полей в поперечном по отношению к движению луча направлении при разных распределениях энергии по сечению пятна

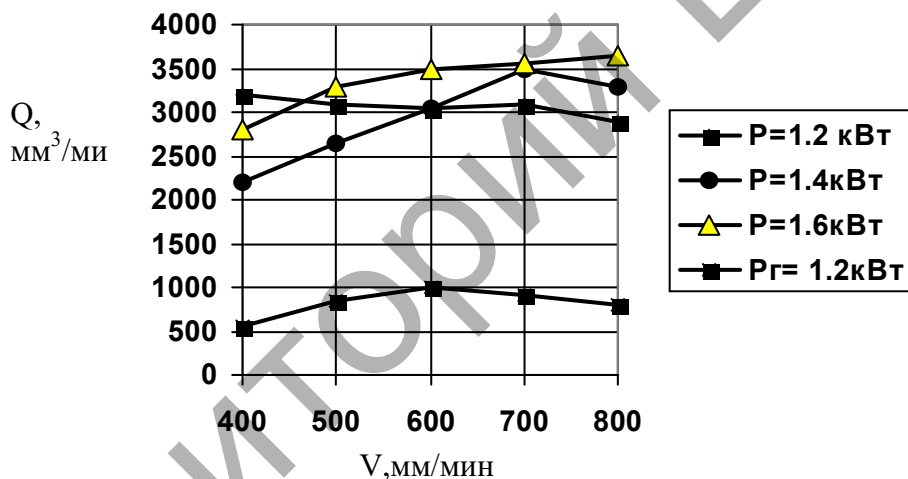


Рис 3 Производительность лазерной обработки с использованием сканирующей обработки излучением волоконного (P) и газового (P г) лазера

Выводы: 1. Показано, что использование сканирующей лазерной обработки является эффективным методом управления процессом лазерной поверхностной обработки. 2. Установлено, что использование сканирующего излучения оптоволоконного лазера обеспечивает повышение энергоэффективности в 10-12 раз по сравнению с закалкой излучением газового лазера.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Григорьянц А.Г. Технологические процессы лазерной обработки /А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.И. Мисюров. – М. Изд. МВТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 633 с.
2. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок. / Под ред. В.Я.Панченко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 664 с.

3. Углов, А.А. Учет немонотонности пространственного распределения лазерного излучения при расчете режимов термической обработки массивных изделий / А.А. Углов [и др.] // *МиТОМ*. – 1989. – № 11. – С. 9 – 13. 4. Югов В. Высокоэффективная технология ресурсосбережения: лазерная поверхностная обработка // *Фотоника*. – 2012. №4. с. 12-20.

УДК 621.785

## **ИЗНОСОСТОЙКИЕ ДИФФУЗИОННЫЕ СЛОИ СО СТРУКТУРОЙ ШАРПИ**

*Менделеева О.Л.*

Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Республика Беларусь

Для эксплуатации в условиях трения и высоких удельных нагрузок требуется конструкционный материал со структурой композита - сталь с термически упрочненной, вязкой сердцевиной и износостойким диффузионным слоем на поверхности.

Износостойкие структуры Шарпи содержат металлоподобные соединения, прочно удерживаемые в пластичной матрице твердого раствора. Такая матрица обладает высокой ударной вязкостью и пластичностью, и, следовательно, значительной демпфирующей способностью. И, хотя пластическая деформация в микрообъемах твердого раствора вокруг кристаллов упрочняющих фаз характеризуется высоким уровнем микронапряжений, но поглощенная матрицей энергия (теплота пластического трения) инициирует рекристаллизационные процессы, благодаря которым состояние структуры отличается малой дефектностью и близко к равновесному.

Существуют некоторые требования к кристаллической структуре упрочняющей фазы (металлоподобного соединения). Его кристаллическая структура должна обладать симметрией кубической или гексагональной сингонии - это обеспечит кристаллу металлоподобного соединения удовлетворительные в условиях трения механические характеристики, такие как модуль упругости, временное сопротивление разрушению при одноосном растяжении, прочность при изгибе и микротвердость.

Периоды кристаллических решеток сопряженных фаз должны значительно отличаться, чтобы межфазная граница соединения с твердым раствором была некогерентной с высокой энергией поверхностей раздела. Но удельные объемы фаз должны быть близки, в этом случае кристаллизация соединения в пластичной матрице пройдет с небольшим объемным эффектом, и энергия упругих взаимодействий будет иметь небольшую величину.

При соблюдении этих условий граница раздела фаз будет криволинейной, а форма кристаллов соединения - близкая к сфероидной (не угловатая). Это позволит снизить количество микроконцентраторов напряжений (и избежать зарождения хрупкой трещины).

За период приработки пары трения происходит частичное удаление с поверхности более мягкого материала матрицы (твердого раствора) и формируется микрорельеф с выступающими кристаллами соединения. Коэффициент трения значительно снижается за счет уменьшения площади контакта поверхно-