

Ф.В. ФУНТОВ, И.Р. ОВСЯНКИН, П.С. ДЖУМАЕВ,  
В.Н. ПЕТРОВСКИЙ, В.И. ПОЛЬСКИЙ, А.А. ТИМОФЕЕВ  
*Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия*

### СВЕРХЗВУКОВОЕ ЛАЗЕРНОЕ ОСАЖДЕНИЕ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ПОРОШКА $\text{NiAl}_2\text{O}_3$

Рассмотрено сверхзвуковое лазерное осаждение (SLD) низкого давления порошка  $\text{NiAl}_2\text{O}_3$  на подложки низкоуглеродистой стали Ст3 с использованием установки "ДИМЕТ – 404" и мощного волоконного лазера. Проведен микроструктурный анализ покрытий, полученных при различных технологических параметрах напыления. Создана математическая модель для расчета распределения тепловых полей в подложках при изменении мощности сопутствующего лазерного излучения.

F.V. PHUNTOV, I.R. OVSYANKIN, P.S. DZHUMAEV,  
V.N. PETROVSKIY, V.I. POLSKIY, A.A. TIMOFEEV  
*National Research Nuclear University MEPHI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia*

### SUPERSONIC LOW-PRESSURE LASER DEPOSITION OF $\text{NiAl}_2\text{O}_3$

Supersonic low-pressure laser deposition (SLD) of  $\text{NiAl}_2\text{O}_3$  powder onto low-carbon steel St3 substrates using a DIMET-404 installation and a powerful fiber laser is considered. A microstructural analysis of coatings obtained with various technological parameters of spraying has been carried out. A mathematical model has been created to calculate the distribution of thermal fields in substrates when the power of the accompanying laser radiation changes.

Процесс SLD включает использование лазера и сопла de Laval CS для усиления деформации подложки/частиц осажденного порошка за счет их размягчения на месте. В некоторой соответствующей литературе этот процесс также называется холодное газодинамическое напыление с помощью лазера (LACS).

Сверхзвуковое лазерное осаждение (SLD) - это процесс комбинированной предварительной лазерной обработки подложки и нанесения покрытий в одну стадию для получения современных защитных или функциональных покрытий с высокой адгезией и когезионной прочностью.

На сегодняшний день были исследованы три различные конфигурации лазера для сопла de Laval CS: (1) Лазер, расположенный соосно с распылением, (2) Лазер, расположенный вне оси, с лазерным пятном, совпадающим с центром распыления, и (3) смещение лазера от оси при нанесении распыления, когда сопло следует за лазерным лучом. В большинстве описаний SLD лазер устанавливается снаружи и под острым углом к оси сопла CS. Угол наклона лазера регулируется таким образом, чтобы сфокусированное лазерное пятно находилось на подложке и точно под соплом CS, на заранее определенном расстоянии от него. В этой конфигурации лазер перемещается вместе с соплом во время процесса распыления.

В данном исследовании использовался порошок никеля с добавками оксида алюминия N3-00-02 (производства Обнинского центра порошкового напыления). Порошок состоит из частиц технического чистого никеля и электрокорунда, расчетные концентрации которых составляли Ni+50 об.%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . На рис. 1 показана морфология порошка.

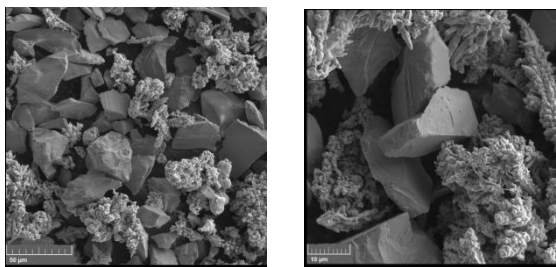


Рисунок 1 – Морфология порошка N3-00-02.

В состав экспериментальной установки входил непрерывный волоконный лазер со средней выходной мощностью 10 кВт и диаметром сердцевины волокна 200 мкм, оптическая голова с линейным формирователем лазерного пучка. Исследовательская система включала в себя установку холодного распыления под низким давлением «Димет» модель 404. Сопло Лавала и оптическая голова волоконного лазера были установлены на роботе MOTOMAN. Оптическая голова, используемая в эксперименте, обеспечивала пространственное распределение лазерного излучения в виде прямоугольника размером 6x30 мм. Образцы закреплялись неподвижно на монтажном столе в закрытой камере. Линейный формирователь оптического излучения при расположении оптической головы под углом  $30^\circ$  к плоскости поверхности обрабатываемых подложек формировал на подложке пятно размером 6x35 мм. Сопло для холодного распыления под низким давлением было круглым диаметром около 5 мм. При используемой геометрии лазерный луч использовался для одновременного облучения пятна распыления и локального предварительного нагрева подложки. Было изучено влияние различных технологических параметров на микроструктуру, плотность и эффективность нанесения покрытий.