ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

DOI: 10.17223/9785946218412/341

**ТРЕБОВАНИЯ К ФЕЛАМЕНТАМ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИИ ЛОКАЛЬНЫХ ОБЪЕМОВ
МАТЕРИАЛОВ В АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ**

Буров В.Г.

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск,

Послойное формирование металлических изделий с использованием лазерного или электронного луча открывает широкие возможности создавать изделия с градиентным химическим составом и изменяющейся структурой как на макро-, так и на мезо- и микромасштабном уровнях. Накопленный опыт исследования наплавки композиционных упрочняющих покрытий на изделия из металлических сплавов позволяет определить перспективы и ограничения при синтезе деталей, состоящих из разнородных материалов. В отличие от армированных соединений, являющихся сборочными единицами, изготовленными из разнородных материалов, создаваемые 3D-печатью изделия представляют собой детали, имеющими переменный химический состав и гетерофазную структуру. При синтезе таких деталей важен учет физико-химического взаимодействия разнородных материалов как в отдельных слоях, так и между слоями. Из существующих современных схем 3D-печати металлических изделий для формирования синтеза изделий из разнородных материалов может быть применен метод процесс прямого подвода энергии и материала (*Direct metal deposition*). В качестве источника энергии, обеспечивающего локальное расплавление наплавляемого металла или композиционного материала с металлической матрицей, наиболее перспективно применение луча релятивистских электронов в связи с исключением влияния на степень поглощения энергии оптических свойств используемых материалов. В качестве среды для послойной наплавки допустим только вакуум, исключающий рассеяние электронного луча. Следующее ограничение связано со способом доставки наплавляемого материала в зону нагрева, наиболее эффективным представляется использование прутков и нитей (филаментов) из чистых металлов и сплавов. Порошковые композиции могут быть также применены, но только в виде порошковых проволок, в которых оболочка выполнена из основного матричного материала и заполнена смесью порошков, определяющих свойства формируемого гетерофазного слоя. Каждый из слоев может быть сформирован одновременной наплавкой нескольких нитей с изменением скорости подачи каждой из них в зону плавления, что также позволяет направленно формировать химический состав локальных объемов формируемого изделия.

Химический состав синтезируемой детали определяется требованиями к свойствам их отдельных объемов. Так, например, опыт наплавки твердосплавных вольфрамокобальтовых покрытий на стальные изделия [1], свидетельствует о возможности использования электронного луча для формирования твердого сплава, так как время смачивания карбидных частиц расплавом определяется величиной $\sim 10^{-3}$ с, а время растекания расплава на расстояние 1 мкм составляет $\sim 10^{-2}$ с. Непосредственная наплавка твердосплавной композиции на сталь ограничивается формированием хрупких сложных карбидов в переходной зоне между сталью и твердосплавным слоем. По данным дифференциальной сканирующей калориметрии кристаллы сложных карбидов $(\text{Fe}, \text{W}, \text{Co})_n\text{C}$ образуются в наплавляемом покрытии при твердофазном взаимодействии частиц карбида вольфрама с железом и кобальтом уже при температурах выше 710 °С. Эти карбиды отличаются повышенной хрупкостью и сохраняются в переходной зоне между наплавляемым покрытием и сталью в результате нарушения баланса углерода в наплавляемом покрытии. Наличие сложных карбидов $(\text{Fe}, \text{W}, \text{Co})_n\text{C}$ в переходной зоне приводит к потере упрочняющих свойств наплавленного слоя. Для исключения образования дефектной структуры рационально формировать барьерный слой между сталью и наплавляемым твердым сплавом, который исключал бы взаимодействие железа основного металла с частицами карбида вольфрама. Наилучшие результаты были получены путем насыщения поверхностного слоя стали бором, сформированный слой позволяет создать между сталью и наплавляемым твердым сплавом борированный слой, ограничивающий

Секция 7. Аддитивные технологии формирования материалов, изделий и конструкций с иерархической структурой

взаимодействие железа с частицами карбида вольфрама. Наплавка твердосплавной порошковой смеси на насыщенный бором поверхностный слой стали позволяет получить при наплавке твердого сплава матричное покрытие, содержащие частицы монокарбида вольфрама в матрице, состоящей из эвтектик $\text{Co-Co}_2\text{B}$ и $\text{Fe-Fe}_2\text{B}$. Результаты прочностных испытаний закаленной от 850°C и отпущенной при 300°C композиции "сталь 45 – покрытие", полученной жидкофазным спеканием порошковой смеси ВК6 на предварительно насыщенной бором стали 45 показали, что покрытие имеет свойства, близкие к свойствам спеченного твердого сплава WC-Co , несмотря на то, что его структура является матричной и не имеет жесткого каркаса из частиц упрочняющей фазы.

Длительный процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя стали бором может быть заменен процессом электронно-лучевой наплавки железа с порошком бора [3], что позволяет получать борированные слои различной толщины с равномерной микроструктурой. Таким образом, процесс электронно-лучевой 3D-печати стального изделия с твердосплавными поверхностными слоями может быть выполнен непрерывно путем печати борированных слоев на предварительно сформированный стальной слой и последующей печатью слоев, содержащих частицы монокарбида вольфрама.

Электронный луч как источник нагрева позволяет обеспечить нагрев любых металлов, сплавов и керамических материалов с высоким коэффициентом поглощения энергии [2], а аддитивная послойная наплавка в вакууме минимизирует дефектность структуры в виде пор. Так как значительное количество сплавов и композиционных материалов не может быть изготовлена в виде филаментов, применение порошковых проволок может обеспечить формирование градиентных структур. Это направление металлургии локальных объемов материалов в аддитивных технологиях предъявляет особые требования к составу, структуре и геометрическим характеристикам филаментов:

- плотность порошкового наполнителя в оболочке проволоки не должна быть менее 40...50 % от теоретической плотности;
- оболочка должны быть выполнена из пластичного материала, который формирует матрицу наплавляемого слоя, с целью возможности многократного волочения проволоки до необходимого диаметра;
- размеры частиц порошковой смеси, являющейся наполнителем проволоки, определяется ее сыпучестью и диаметром проволоки;
- использование проволок с замком возможно только при больших диаметрах и крупнозернистом наполнителе;
- оболочка проволоки должна быть выполнена с нахлестом и обладать высокой жесткостью, исключаяющей ее раскрытие под действием высокотемпературного нагрева, либо оболочка должна быть заварена.

1. Буров, В. Г. Особенности формирования твердосплавных покрытий в процессах жидкофазного спекания [Текст] / В. Г. Буров, А. А. Батаев // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. – 2004. – № 4 (25). – С. 11–12.
2. Surface-layer formation by melting tungsten-cobalt powder mixtures on steel [Text] / V. G. Burov, V. A. Bataev, S. V. Veselov, Z. B. Bataeva, T. S. Sameishcheva // Russian Engineering Research. – 2012. – Vol. 32, № 1. – P. 95–97.
3. Non-vacuum electron-beam boriding of low-carbon steel [Text] / I. A. Bataev, A. A. Bataev, M. G. Golkovsky, A. M. Teplykh, V. G. Burov, S. V. Veselov // Surface & Coating Technology. – 2012. – Vol. 207. – P. 245–253.