Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

А. А. Паркин, С. Н. Косинова, С. С. Жаткин, Исследование процессов перераспределения компонентов при формировании покрытий из порошковых материалов, полученных с помощью лазерного излучения, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 1998, выпуск 6, 132–134

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu17>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 54.224.60.19

26 апреля 2023 г., 13:33:21

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПОКРЫТИЙ ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

На основании экспериментальных исследований рассматриваются факторы, влияющие на процессы перераспределения компонентов в ванне расплава при лазерном воздействии на порошковые смеси. Термокапиллярная конвекция, седиментация частиц, диффузионные процессы вносят различные вклады в перераспределение частиц на разных уровнях ванны расплава. Также выявлено влияние воздуха, сосредоточенного в поровых пространствах исходной порошковой смеси на структуру нижних слоёв покрытий толщиной до 1 мм, сформированных с помощью лазера.

Процесс формирования покрытий на основе порошковых материалов с помощью лазерного излучения имеет ряд особенностей по сравнению с традиционными способами. Градиент температур, возникающий по глубине покрытия при воздействии лазера, обуславливает различие в протекании физико-химических процессов в разных слоях этого покрытия. При этом ванну расплава можно условно поделить на три зоны. В первой, приповерхностной зоне, в связи с высокими температурами и большими скоростями движения расплава происходит полное растворение и перемешивание компонентов. Следующая за первой - вторая зона состоит из жидкой фазы и тугоплавких частиц, которые не смогли полностью раствориться из-за меньшей температуры и меньшим временем нахождения системы в расплавленном состоянии, но хорошо перемешались, так как скорости гидродинамических потоков на этой глубине ещё существенны. Третья зона, прилегающая к дну, состоит из практически не растворённых и не перемешанных компонентов. При разогреве хотя и происходит их расплавление, но из-за недостаточного времени они не успевают полностью раствориться и тем более перемешаться.

В зависимости от режимов обработки и состава смеси возможно смещение зон, а также изменение их размеров - увеличение одних за счёт уменьшения других. Наличие данных зон и обуславливает градиент свойств, возникающих в сформированных покрытиях.

С целью выяснения механизмов растворения и перемешивания компонентов при лазерном формировании покрытий был поставлен модельный эксперимент. В железную порошковую матрицу по специально разработанной методике запрессовывался по центру дорожки порошок вольфрама и титана, так, что вольфрам находился сверху, а титан внизу ванны (рис.1). Выбор компонентов смеси и места расположения при прессовании вызвано их удельным весом и температурой плавления.

Р и с. 1. Вид поперечного среза запрессованного покрытия
(размеры указаны в мкм)

Образец подвергался обработке лучом лазера на установке ЛТ1-2 в среде аргона. Скорость перемещения луча -1,5 мм/с, частота сканирования – 15 Гц, мощность луча– 400-500 Вт. Данный режим обеспечивал проплавление покрытия на глубину 1 мм.

Основной задачей эксперимента было сравнение распределения компонентов после обработки лазерным лучом с их исходным расположением. Это позволит сделать вывод о возможных механизмах процессов, происходящих в ванне расплава на всех её уровнях, а также при её кристаллизации при лазерном формировании покрытий на основе порошковых материалов.

С целью исследования перераспределения компонентов в ванне расплава после её кристаллизации и рассмотрение возможных причин, вызывающих это распределение, проводилось исследование полученного покрытия по нескольким методикам: измерение микротвёрдости, металлографическое исследование, микроанализ поперечного шлифа и рентгено-фазовый анализ поверхности.

Металлографический анализ поперечного шлифа сформированного покрытия указывает на неоднородность ванны расплава, возникающей при лазерном воздействии. Так, в приповерхностном слое толщиной 150-200 мкм формируется однородная структура, при травлении которой выявляется мартенсит. Далее появляется некоторая неоднородность, которая с глубиной увеличивается. На глубине 800-900 мкм наблюдаются отдельные частицы, разделённые тонкими оксидными или нитридными плёнками, но контактирующими между собой. В центре покрытия в зоне первоначального прессования титана формируется очень твёрдая, окрашенная в желтый цвет, фаза, микротвёрдость которой имеет значения 12-18 ГПа. Предположительно, это нитрид титана, образовавшийся в результате химической реакции титана с атмосферным азотом, находящимся в поровых пространствах исходной порошковой смеси. Интересным является тот факт, что формирование неметаллических фаз (оксидов, нитридов, а возможно, и гидридов) происходит ближе к дну покрытия. В приповерхностных слоях этого не происходит благодаря тому, что обработка лазером происходит в среде аргона.

Большой разброс микротвёрдости по всему покрытию говорит о неоднородности сформированной структуры.

Рентгено-фазовый анализ поверхности покрытия, который проводился на установке ДРОН-3 в Co K_α излучении, указывает на наличие в приповерхностном слое элементов железа, вольфрама, а также интерметаллида Fe_2W . В то же время линии на дифрактограмме, соответствующие титану, малоинтенсивны, что говорит о небольшом количестве его на поверхности.

С целью установления распределения компонентов был проведён микрорентгеноспектральный анализ поперечного шлифа на микроанализаторе «Superprob- 738». Шаг измерения составлял 25 и 100 мкм по глубине и ширине покрытия, диаметр зонда-50 мкм. Основные результаты данных исследований представлены на рис. 2 и 3.

Так, мы наблюдаем, что хотя титан и вольфрам в основном сосредоточены в зоне первоначального расположения, все же происходило их перераспределение как по глубине, так и по ширине покрытия. Смещение пиков интенсивности вольфрама вниз, а титана вверх ванны расплава указывает на седиментацию данных элементов под действием сил тяжести и гидростатических сил. Перераспределение вольфрама и титана по ширине покрытия говорит о наличии термокапиллярной конвекции в ванне расплава. Вольфрам распределён равномерно по всему покрытию на уровне фона с несколькими пиками интенсивности. Распределение титана в результате плохой смачиваемости его другими металлами происходит в более концентрированном виде: наряду с многочисленными пиками интенсивности существуют участки, где концентрация его равна нулю.

Р и с. 2. Распределение вольфрама в покрытии. Ось x- расстояние от дна покрытия в мкм

Р и с. 3. Распределение титана в покрытии. Ось x- расстояние от дна покрытия в мкм

Данное распределение элементов связано с тем, что вольфрам первоначально находился в зоне с высокой скоростью гидродинамических потоков, что способствовало его лучшему перемешиванию. Скорости гидродинамических потоков на поверхности при данном способе обработки достигают 1- 1,2 м/с, скорость седиментации в зависимости от соотношения плотностей и размера частиц в несколько раз меньше. Поэтому в приповерхностном слое 100-200 мкм основную роль в перераспределении частиц играют гидродинамические потоки, возникающие в расплаве за счёт градиента сил поверхностного натяжения. С глубиной покрытия вклад седиментации в перераспределение элементов в ванне расплава увеличивается.

На процесс перераспределения элементов в ванне расплава наряду с перемешиванием большую роль играют диффузионные процессы, несмотря на то, что время нахождения системы при высоких температурах при данном способе обработки мало- не более 1 с. Об этом свидетельствует тот выявленный факт, что происходит растворение частиц до размеров меньших исходных. Так, дополнительный качественный микроанализ по центру поперечного сечения покрытия с шагом 25 мкм, т.е. с перекрыванием указывает на растворение железа до размеров частиц меньше 50 мкм, так как при диаметре зонда 50 мкм и размере исходных частиц железа 100 мкм интенсивность железа никогда не достигала 100 %. По фотографии закристаллизовавшейся капли титана, сделанной на электронном микроскопе при увеличении 6000 в характеристическом излучении, можно говорить о преимущественном растворении вольфрама в титане и железе до размеров частиц меньше 0,1 мкм и практически полном несмешивании титана и железа. Растворимость вольфрама в железе, согласно [1], несколько больше, чем титана в железе. Титан с железом и вольфрам с железом образуют интерметаллиды, ограничивающие область первичных растворов. Титан с вольфрамом интерметаллидов не образуют, что способствует лучшему их растворению и перемешиванию.

Таким образом, в результате анализа экспериментальных данных установлено, что при лазерном формировании покрытий толщиной до 1 мм на основе порошковых материалов происходит перераспределение частиц в результате увлечения их гидродинамическими потоками, седиментации, а также диффузионных процессов. Вклад каждого фактора различен в зависимости от глубины покрытия, размеров частиц в исходной смеси и режимов обработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Григорович В.К. Металлическая связь и структура металлов. М.: Наука, 1988. 295 с.