

ФОРМИРОВАНИЕ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОМ УПРОЧНЕНИИ

Н.В. Спиридонов, И.О. Соколов, Л.И. Пилецкая

Белорусский национальный технический университет, Минск

Представлены результаты исследования формирования структуры многокомпонентных многофазных газотермических покрытий в результате последующей термической обработки лазерным излучением. Рассмотрены механизмы упрочнения газотермических покрытий и структурно-фазовые превращения при оплавлении покрытий.

Выбранные для исследований материалы: ПР-НХ17СР4, ПС-12НВК-01, ПГ-10К-01 – многокомпонентные многофазные системы, имеют неравновесную структуру. Основными структурными составляющими этих порошков являются мелкие первичные кристаллы карбидов и боридов хрома, твердые растворы на основе никеля и кобальта, карбиды вольфрама, сверхтонкая эвтектика боридов никеля и кобальта.

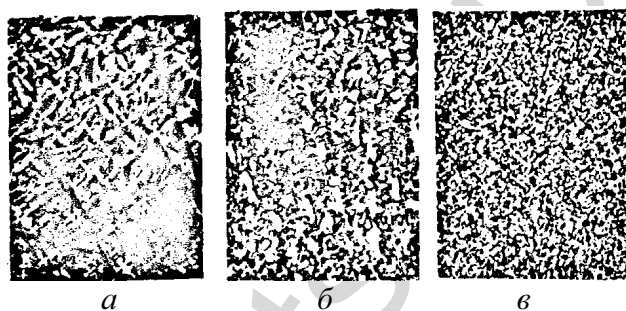
Состав материалов можно разделить на следующие основные компоненты – никелевую и кобальтовую матрицы и дисперсные частицы упрочняющих фаз, сохраняющих достаточную устойчивость при высоких температурах. Частицы порошков имеют преимущественно сферическую форму и по дисперсности относятся к мелким (40-100 мкм).

При газотермическом напылении производили согласование гранулометрического состава порошков с технологическими параметрами нанесения покрытий (V , T , L). Для достижения плотных однородных слоев с высоким качеством поверхности выбирали тонкие порошки (40-60 мкм). Прочность покрытий в большей мере зависит от дисперсности, морфологии и распределения в матрице частиц упрочняющих фаз. Установлено, что чем меньше их размер и выше объемная доля, тем больше прочность сплава. Вместе с тем, мелкодисперсные частицы упрочняющих фаз влияют на дислокационный механизм образования дефектов тонкой структуры, понижая степень активирования трущихся поверхностей и повышая стойкость против схватывания.

На прочность исследуемых материалов влияет состояние их металлической матрицы – твердого раствора на основе никеля и кобальта, степень пересыщения и тип которого определяют уровень физико-механических свойств.

В результате последующей термической обработки образуется беспористая структура, формированию которой способствуют в основном эвтектики. Образующаяся жидкая фаза создает условия для протекания по-

верхностной и объемной диффузии, рекристаллизации и десорбции газов, т.е. процессов, связанных с движением системы к динамическому равновесию. При этом удаляются поры, исчезают границы между напыленными частицами, а развитие диффузионных процессов способствует образованию переходной зоны на границе «покрытие-основа». После термической обработки – оплавления прочность сцепления покрытий с основой повышается до 250-350 МПа. При использовании лазерного луча для оплавления создаются специфические условия формирования оплавляемых покрытий. В зоне лазерного воздействия происходят локальный нагрев и плавление с высокой скоростью участков покрытия. Последующее быстрое охлаждение создает условия для неравновесной кристаллизации расплава при его значительном переохлаждении. Микроструктура покрытий, оплавленных лазерным лучом, отличается повышенной дисперсностью и равномерностью (рис. 1).



$a - q = 50 \text{ кВт/см}^2$; $b - q = 75 \text{ кВт/см}^2$; $v - q = 100 \text{ кВт/см}^2$;

Рис. 1. Микроструктура покрытия ПР-НХ17СР4, оплавленного лазерным излучением, при различных режимах, $\times 500$

При лазерном оплавлении покрытий, нанесенных на основу из конструкционных сталей, в зоне термического влияния происходит закалка прилегающего участка материала основы (рис. 2).



Рис. 2. Закаленный участок основы в зоне термического влияния, $\times 700$

На границе раздела «покрытие – основа» наблюдается светлая прослойка (линия сварки), образующаяся в результате контакта жидкой и твердой фаз, представляющая собой твердый раствор железа в никеле. Наличие светлой полосы свидетельствует о том, что между покрытием и основой образовалась прочная металлическая связь. Толщина линии свар-

ки зависит от режимов лазерной обработки. При оплавлении с высоким энерговыделением ($q = 100 \text{ кВт/см}^2$, $V = 1 \text{ мм/с}$) толщина линии сварки достигает максимальных значений – до 3 мкм. При этом в результате специфических теплофизических условий нагрева и охлаждения формируется высокодисперсная структура покрытий тонкого дендритного строения. Направленный теплоотвод с высокой скоростью в зоне расплава, примыкающей к основе, вызывает рост удлиненных дендритов γ - твердого раствора на основе никеля, нормально ориентированных к линии сварки. В поверхностных слоях покрытия в результате снижения скорости охлаждения образуется зона равноосных мелких дендритов твердого раствора. При неравновесной кристаллизации междендритное пространство обогащается эвтектическими колониями – боридной и др. Строение эвтектических колоний представляет собой единое разветвленное образование, пронизывающее, армирующее весь объем покрытия

Оплавление с плотностью мощности излучения порядка $75\text{-}100 \text{ кВт/см}^2$ и скоростью перемещения $3\text{-}5 \text{ мм/с}$ вызывает кристаллизацию расплава по типу чисто эвтектической. Формируется однородная субмелкодисперсная структура с равномерным распределением выделений упрочняющих фаз. При лазерном воздействии режимы обработки (q , V) влияют на механизм кристаллизации и определяют формирование упрочненной структуры.

При образовании твердых растворов внедрения происходит обогащение структурных неоднородностей в объеме сплава атомами растворенного компонента, ведущее к снижению избыточной энергии дефектов, то есть сегрегации без выделения. Атомы внедрения прочно связываются с дислокациями, образуя атмосферы Коттрелла. Даже небольшое количество второго компонента значительно затрудняет движение дислокации.

УДК 681

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЧНОСТНОЙ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Л.С. Турищев

Полоцкий государственный университет, Новополоцк

Излагается опыт организации прочностной подготовки студентов для проектно-конструкторской деятельности инженеров на кафедре прикладной механики и графики Полоцкого государственного университета.

Фундаментальная роль в проектно-конструкторской подготовке студентов технических специальностей принадлежит ее прочностной составляющей (прочностной подготовке), так как от нее, в первую очередь, зависит надежность и материалоемкость проектируемого инженерного объекта. Об-