

АРМИРОВАННЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ С ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ, ПОЛУЧЕННЫЙ СВАРКОЙ ВЗРЫВОМ

И.С. Лось, А.Е. Розен, А.В. Хорин, Е.Г. Трошкина, М.С. Дроздова

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

Создание армированных металлических композиционных материалов на основе легких металлов вызвано необходимостью решения некоторых задач в области авиационного строительства. Задача состоит в повышении эксплуатационных характеристик - удельной прочности и удельной жесткости - при сохранении низкой плотности. В этой связи армирование неметаллическими волокнами не позволяет достигнуть высокой стойкости материала при повышенных температурах, а использование слоистых металлических композиционных материалов снижает показатели из-за увеличения плотности. Кроме того, в ряде случаев материалы обладают сравнительно низкими технологическими свойствами.

Предлагается технология получения армированных композитов с применением сварки взрывом. Принципиально новым в данной технологии является возможность получения материалов, физико-механические свойства которых формируются на конечной стадии технологического процесса. Указанные механические свойства могут варьироваться в широком диапазоне значений и быть заранее спрогнозированы в зависимости от нагрузок, действующих на конкретную деталь.

Целью данной разработки является получение композиционных армированных материалов с заданными показателями удельной прочности и жесткости на основе легких сплавов.

Предлагаемая технология включает сварку взрывом, формообразование и термическую обработку.

Исходными материалами для получения композита являются металлы, образующие интерметаллидные соединения. Металл малой плотности (алюминий, магний, титан и др.) составляет матрицу. Материал армирующего элемента выбирается в зависимости от характера взаимодействия с металлом матрицы. Для алюминия в качестве армирующего материала могут быть выбраны медь или титан, для магния - марганец или никель, для титана - сталь. Возможны другие сочетания. Дополнительными условиями яв-

ляются термическая стойкость интерметаллидов и высокая технологическая пластичность металлов матрицы и армирующего элемента, необходимая для сварки взрывом и передела.

Сварка взрывом выбрана в качестве способа соединения, так как от других способов отличается она значительным давлением и малой продолжительностью. Время сварки составляет 10^{-4} - 10^{-6} секунд. Сварка взрывом практически исключает разупрочнение волокон, не требует предварительного нагрева, характеризуется простотой оснащения и позволяет получать крупногабаритные заготовки и полуфабрикаты.

Сварка взрывом производится по плоской или цилиндрической схемам. Между свариваемыми слоями матрицы размещают компоненты армирующего элемента определенного профиля. Форма поперечного сечения может быть различной: круглой, треугольной, прямоугольной. Арматура может укладываться свободно в различных направлениях: в продольном или поперечном направлении относительно направления распространения фронта детонационной волны или в виде сетки. Применительно к данной технологии предложено располагать компоненты армирующего элемента в направлении максимальных нагрузок, действующих на изделие в процессе эксплуатации.

Прочность соединения слоев матрицы между собой и матрицы и армирующего элемента определяется, главным образом, параметрами соударения, т.е. скоростью соударения, высотой заряда, скоростью детонации взрывчатого вещества. Параметры сварки выбираются таким образом, чтобы обеспечить прочное соединение слоев матрицы и армирующего элемента при отсутствии на межфазных границах неоднородностей в виде прослоек интерметаллидов. На геометрию линии шва и стабильность схватывания по всей плоскости соединения влияют также размеры поперечного сечения и шаг расположения волокон, соотношение толщин листов матрицы и армирующего элемента, механические свойства металла матрицы и армирующего элемента.

После сварки материал значительно упрочняется, однако сохраняет достаточно высокую пластичность, поэтому листовые или цилиндрические полуфабрикаты возможно подвергать холодной прокатке, листовой штамповке и механической обработке. После завершения формообразования конечного изделия производится термическая обработка, во время которой образуются интерметаллидные фазы при взаимодействии матрицы и армирующего элемента. Продолжительность термообработки определяет полноту превращения. Она может предусматривать полное или частичное превращение армирующего элемента в интерметаллиды.

В качестве исходных материалов были выбраны алюминий и медь. В соответствии с диаграммой состояний они образуют интерметаллиды состава Al_2Cu , Cu_3Al , $CuAl$ и Cu_3Al_2 , которые отличаются высокой твердостью по сравнению с медью и алюминием.

Матрицей являлся алюминий в виде пластин толщиной 2 мм и труб. Армирующим элементом служила медная проволока диаметром 0,9 мм. Сварку взрывом выполняли по плоской и цилиндрической схемам. В плоской схеме проволоку относительно алюминиевой пластины закрепляли на дополнительном основании, метаемым элементом служила другая пластина, на которой размещался контейнер со взрывчатым веществом. Инициирование заряда осуществляли электродетонатором. Детонационная волна распространялась вдоль армирующего элемента.

Для трубных заготовок использовали навивку в виде спирали и продольное расположение проволоки относительно оси заготовки. Проволоку располагали на наружной поверхности внутренней трубы. При спиральной навивке проволоку помещали в специальную канавку. Чтобы предотвратить деформацию трубных заготовок в радиальном направлении, в схеме использовали центральный стальной стержень, отделенный от внутренней поверхности трубы инертным материалом.

Параметры сварки выбирали близкими к нижней границе свариваемости, таким образом, чтобы обеспечить минимальное тепловложение. Это позволяло сохранить металлическую структуру меди и алюминия и исключить образование хрупкой интерметаллидной прослойки еще на стадии сварки. Использовали смесевые взрывчатые вещества

на основе аммонита и аммиачной селитры. Сварку проводили в условиях открытого полигона.

Полуфабрикаты композиционного материала сохраняли высокую пластичность и способность подвергаться различным видам технологического передела. После сварки взрывом плоские заготовки подвергали холодной прокатке. Материал деформировался без трещин и расслоений. Толщина плоских заготовок после сварки составляла 4,0 - 4,2 мм. Прокатку производили со степенью деформации 25, 50, и 75% до толщин 2,9 - 3,0, 1,9 - 2,0 и 1,1 - 1,2 мм, соответственно.

Изготовили микрошлифы образцов пластин и исследовали микроструктуру материала после сварки взрывом и после прокатки в продольном и поперечном направлении. Исследование показало, что после сварки взрывом проволока в сечении остается близкой к округлой (отношение ширины к толщине примерно равно 4/3), наблюдается удовлетворительная сварка, как по сечению, так и по длине. Медь и алюминий не образовали интерметаллидов в процессе сварки.

В процессе холодной прокатки со степенью деформации 25, 50, и 75% отношение ширины к толщине проволоки становится равным 7/3, 8/2, 7/1, соответственно. Причем ширина с увеличением степени деформации изменяется незначительно, это означает, что деформирование армирующих элементов происходит по длине совместно с материалом матрицы.

С целью формирования свойств композиционного материала должна быть выполнена термическая обработка, во время которой весь армирующий материал или его часть переходят в интерметаллиды.

Для изучения кинетики роста слоя интерметаллидов проводили термическую обработку при температурах 300, 350, 400, 450 и 500 °C в течение 5, 10, 15, 30, 60 и 120 мин. На микрошлифах с помощью металлографического микроскопа исследовали рост слоя интерметаллидов.

Изучение свойств интерметаллидного упрочняющего слоя проводили путем измерения микротвердости на приборе ПМТ-3. Микротвердость интерметаллидов составляет 3500-4500 HV.

Выводы. Данная работа выполняется в рамках Государственного оборонного заказа. По материалам работы подана заявка на патент в 2006 году.