

КОМБИНИРОВАННЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Л.Б. Первухин, С.Е. Мойзис, О.Л. Первухина, Т.А. Шишкин

Использование нетрадиционных методов и их комбинаций при создании новых материалов для машиностроения является перспективным направлением развития современного материаловедения. В настоящей статье на примерах использования комбинированных технологий (сварка взрывом и горячая пакетная прокатка, сварка взрывом и горячая прокатка, обработка взрывом и СВС-процесс, сварка и компактирование взрывом и СВС-процесс при термической обработке) показаны возможности получения принципиально новых материалов.

Ключевые слова: новые материалы, сварка взрывом, прокатка, СВС-процесс, броневой материал, сталь, закалка, лицевой и тыльный слой.

В конце прошлого столетия у нас в стране и за рубежом широко велись исследования по созданию новых материалов с использованием нетрадиционных методов, в которых источниками энергии были горение и взрыв. Развитие этих методов привело к созданию новых направлений, таких как самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), синтез сверхтвердых материалов при ударно-волновом сжатии, сварка и компактирование взрывом.

При ударном сжатии конденсированных сред возникают высокие концентрации энергии, превосходящие энергии связи твердых тел, перестройка и возбуждение молекулярной и электронной структур, фазовые превращения, высокоскоростная деформация и разрушение материала. При создании промышленных технологий производства новых материалов этими нетрадиционными методами необходимо учитывать как возможность синтеза, сварки, так и разрушения. Комбинация традиционных и нетрадиционных методов позволит, с одной стороны, синтезировать, активировать или получить соединение с использованием энергии взрыва или горения, с другой стороны, это обеспечит высокопроизводительную дальнейшую переработку прокаткой, термообработкой и т. п. Перспективно использовать технологии сварки взрывом в комбинации с технологией СВС. Покажем эти возможности на примерах.

Получение новых материалов по методу комбинации сварки взрывом и прокатки. Износостойкие и броневые материалы. Этот метод позволяет получать широкий круг материалов износостойких для инструмента и изготовления рабочих органов почвообрабатывающих машин, высокопрочные для защиты бронетехники и личного состава, многослойные трубы и т. п.

По определению, композиционные многослойные материалы представляют собой гетерогенные, термодинамически неравновесные системы, состоящие из двух и более компонентов, отличающихся по химическому составу, физико-механическим свойствам и разделенных в материале четко выраженной границей. На этой границе возникает скачок или разрыв термодинамических и физико-механических свойств, приводящих к неопределенности поведения материала, в особенности при высокой энергии воздействия в процессе импульсной ударной нагрузки. Границы раздела между компонентами являются наиболее дефектными локальными областями в композите, в которых зарождаются и затем распространяются магистральные трещины, приводящие к разрушению конструкции. По существу границы раздела между компонентами являются многочисленными концентраторами напряжений при статическом и динамическом нагружении и поверхностями, отражающими ударный импульс сжатия с образованием импульса растяжения при высокоскоростном соударении.

Таким образом, при создании многослойного материала для композиционной брони необходимо сформировать границу раздела с заданными физико-механическими свойствами, обеспечивающими высокую прочность соединения компонентов.

В качестве лицевого слоя в композиционных материалах для брони используются инструментальные модифицированные стали, обеспечивающие после закалки высокую твердость. В качестве основного слоя используются низколегированные высокопрочные стали, которые имеют твердость после закалки ниже твердости лицевого слоя. Эти материалы в отожженном состоянии или состоянии поставки отличаются повышенной твердостью, низкой ударной вязкостью, склонностью к образованию трещин при деформации, чувствительностью к концентраторам напряжений, плохо свариваемыми традиционными методами сварки давлением и плавлением. В связи с этим затруднено получение многослойных материалов с качественной границей раздела традиционными методами прокатки и наплавки, а также сваркой взрывом. Метод сварки взрывом имеет ограничения по толщине метаемой пластины для малопластичных и высокопрочных сталей (10–12 мм), что не позволяет его рекомендовать для производства многослойной композиционной брони.

В связи с этим, а также для увеличения стойкости многослойной брони, была исследована возможность ее получения с мягкой прослойкой из малоуглеродистой стали по комбинированному методу сварки взрывом с последующей горячей пакетной прокаткой. Тонкая прослойка из вязкой малоуглеродистой стали является локализатором трещин при внедрении ударника в лицевой слой брони, что позволит работать броне по энергетически выгодному механизму «прокол или выпучина».

Разработана следующая технология изготовления многослойной брони с мягкой прослойкой: заготовки из сталей лицевого и тыльного слоя плакируются сваркой взрывом листом из малоуглеродистой стали толщиной 2–4 мм. Затем из двухслойных заготовок сваривается пакет и производится его горячая прокатка, при которой образуется соединение между слоями малоуглеродистой стали. Изготовление опытной партии трехслойного листа показало:

1. Сварка взрывом обеспечивает прочное соединение малоуглеродистой стали со сталями лицевого и тыльного слоя со стопроцентной сплошностью соединения.
2. Термообработка, резка, холодная правка и сварка пакетов под прокатку не выявили нарушений сплошности соединения, полученного сваркой взрывом.
3. Горячая прокатка пакетов прошла без затруднений.
4. Ультразвуковой контроль сплошности после прокатки показал стопроцентную сплошность соединения слоев из малоуглеродистой стали и отсутствие нарушений сплошности соединений, полученных сваркой взрывом.

Изготовление элементов бронезащиты, их термообработка и последующие испытания на бронепробиваемость выявили следующее. При соударении твердого сердечника пули с лицевым слоем, имеющим близкую к нему твердость, происходит разрушение носовой части сердечника, приводящее к увеличению площади контакта сердечника пули с поверхностью бронезащиты и снижению давления на площади контакта. Наличие мягкого подслоя из малоуглеродистой стали препятствует распространению трещин (распространение которых идет со скоростью звука в металле) из лицевого слоя в тыльный, в результате бронезащита работает по энергетически выгодному механизму «прокол или выпучина». Аналогичные явления наблюдаются и при использовании свинцового сердечника пули.

В ходе испытаний установлено, что при пробитии бронезащиты в отдельных случаях наблюдается расслоение по малоуглеродистой стали. Исследование структуры и состава зоны расслоения показало, что 57 % площади расслоений происходит по соединению Ст.3+Ст.3, 13 % по соединению Ст.3+У8А и 30 % по соединению Ст.3+45ХН2МФА. Аналогичные данные приводятся в заявке на патент № 2008118857/02 от 14.05.2008 г., в котором в качестве промежуточного слоя указывается тонкий слой стали 08Х18Н10.

Для получения износостойкого биметалла для рабочих органов почвообрабатывающих машин в качестве износостойкого слоя используются стали типа Х6Ф1, Х12М и другие с высо-

ким содержанием углерода и хрома, карбиды которых обеспечивают стойкость к абразивному износу. В качестве основного слоя применяются конструкционные стали типа 45, 35. Соотношение этих сталей по толщине 1:4 обеспечивает эффект самозатачивания. Технология производства предусматривает изготовление биметалла по описанной выше технологии с использованием промежуточного слоя из стали Ст.3.

Двухслойные трубы. Одна из наиболее острых проблем в жилищно-коммунальном хозяйстве: ежегодный ремонт котельных, вследствие прогара труб нагревательных панелей, особенно при использовании топочного мазута с высоким содержанием серы. При замене нагревательных панелей полностью меняется и обмуровка котлов.

Изготовление нагревательных поверхностей из двухслойных бесшовных котельных труб с плакирующим слоем на наружной поверхности трубы из жаростойкой нержавеющей стали типа 12X18H10T толщиной 0,2–0,3 мм позволяет на порядок увеличить срок службы котла без изменения его производительности.

Технология производства труб включает в себя получение сваркой взрывом двухслойной заготовки и ее последующую прокатку в трубу на стане горячей прокатки. Технология обеспечивает равномерную толщину нержавеющей стали, прочность соединения слоев не ниже прочности углеродистой стали.

По этой технологии изготовлена опытная партия труб с получением двухслойной заготовки сваркой взрывом в ООО «Битруб Интернэшнл» проведением горячей прокатки в трубу диаметром 28×3 мм и 32×3 мм на прокатном стане Первоуральского новотрубного завода. Исследования структуры и свойств полученных труб показало, что в готовой трубе плакирующий слой равномерный по всей поверхности, прочность сцепления слоев составляет 300–320 МПа. Тонкий слой нержавеющей стали практически не изменяет теплопроводности материала трубы, а следовательно, не изменит производительности котла. Наличие тонкого слоя высококоррозионно-стойкой и жаропрочной стали увеличит срок службы поверхностей нагрева в 10 раз.

Получение материалов по методу комбинации СВС-процесса и обработки взрывом. Новые перспективы открываются при создании материалов на основе ударно-волновых технологий и их комбинации с СВС-процессом. На сегодняшний день для ряда отраслей машиностроения, в частности для изготовления брони, перспективно применение слоистых металлокерамических материалов, которые представляют собой трехслойный пакет «сталь-керамика-сталь». Однако технологически очень трудно совместить металл и керамику в одном монолитном материале ввиду значительного различия их свойств. Для решения этой задачи перспективно использовать технологии сварки взрывом в комбинации с технологией СВС.

СВС представляет собой процесс, в котором исходные реагенты, промежуточные и конечные продукты остаются в твердом состоянии в течение всего процесса превращения. Твердое пламя позволяет получать ценные тугоплавкие материалы. Это обстоятельство привело к созданию нового высокоэффективного метода их производства – самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС).

Сварка взрывом обеспечивает надежное соединение металлов, запрессовку и герметизацию слоя СВС-состава в металле. При последующей горячей штамповке деталей и их термической обработке инициируется СВС-процесс, что позволяет получить керамический слой в материале «металл-керамика-металл».

Экспериментально исследована возможность синтеза путем сварки взрывом с герметизацией слоя шихты в металле и инициированием СВС при последующей термообработке. Для этого была разработана схема по герметизации СВС-состава (Ti+C)+20%Ni в металле сваркой взрывом с одновременным его уплотнением. Для предотвращения инициирования СВС и выноса шихты в зазор ее поверхность накрывали слоем фольги.

Инициирования СВС в шихте при сварке взрывом не произошло, что подтверждают результаты рентгенофазового анализа. Образец был подвергнут высокотемпературной термообработке: нагрев в печи до 1100 °С с целью инициирования и поддержания синтеза. Температура в процессе реакции не измерялась.

Рентгенофазовый и микроструктурный анализ образцов из среднего слоя показал, что прошел процесс синтеза и получена структура с распределенными зернами карбида титана в металлической матрице. К преимуществам данного способа относится то, что он позволяет совместить нагрев под закалку и СВС.

Проведенные эксперименты показывают принципиальную возможность получения комбинированным методом (сварка взрывом и СВС) слоистых металлокерамических материалов. При этом керамика выполнена в виде дискретных элементов. На основе этих результатов разработана перспективная технология получения слоистых металлокерамических материалов, сочетающая сварку, компактирование взрывом и СВС.

Заключение. Показана принципиальная возможность создания новых инновационных технологических процессов получения современных материалов для машиностроения на основе комбинации традиционных (горячая пакетная прокатка и термообработка) и нетрадиционных (горение и взрыв) методов.