УДК 621.791.13

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-11-246-53-57

*Т. А. Шишкин, инженер, Л. Б. Первухин, д-р техн. наук***КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД ИЗГОТОВЛЕНИЯ БРОНЕСТАЛИ***ООО «Битруб Интернэшнл», г. Красноармейск, bitrub@mail.ru*

Зарубежный и отечественный опыт показал перспективность использования гетерогенной многослойной брони вместо гомогенной. Проведенные исследования показали, что метод сварки взрывом для малопластичных и высокопрочных сталей имеет ограничения по толщине метаемой пластины 10-12 мм, что позволяет рекомендовать его для производства многослойной композиционной брони. Комбинированная технология (сварка взрывом + горячая пакетная прокатка) обеспечивает получение трёхслойного бронелиста с промежуточным слоем из пластичной стали с высокими прочностными свойствами и бездефектной структурой соединения. Введение в состав многослойной брони прослойки из пластичных металлов позволяет повысить бронестойкость. Комбинированная технология может быть рекомендована для производства износостойкого и броневоего биметалла.

Ключевые слова: композиционный материал, гетерогенная броня, интерметаллид, сварка взрывом

*T. A. Shishkin, L. B. Pervukhin***COMBINED METHOD OF MANUFACTURING ARMORED STEEL***Bitrub International, Krasnoarmeysk, bitrub@mail.ru*

Foreign and domestic experience has shown the prospects of using heterogeneous multilayer armor instead of homogeneous. Studies have shown that the method of explosion welding for low-plastic and high-strength steels has limitations on the thickness of the thrown plate of 10-12 mm, which allows us to recommend it for the production of multilayer composite armor. The combined technology (explosion welding + hot batch rolling) provides a three-layer armor plate with an intermediate layer of plastic steel with high strength properties and a defect-free joint structure. The introduction of layers of plastic metals into the composition of multi-layer armor makes it possible to increase the armor resistance. The combined technology can be recommended for the production of wear-resistant and armored bimetal.

Keywords: composite material, heterogeneous armor, intermetallic, explosive welding

Опыт ведения боевых действий последних лет показал низкую эффективность гомогенной брони для защиты бронетанковой, автомобильной, авиационной техники, ракетно-артиллерийских систем различного базирования, средств коллективной и индивидуальной защиты личного состава. Пробивание гомогенной (однослойной) брони протекает по низкоэнергетическому механизму за счёт среза, пролома и откола. Использование гетерогенной (многослойной) брони привело к изменению механизма бронепробивания, сделало его более энергозатратным. Кинетически процесс сводится к проколу преграды с дополнительным поглощением энергии за счёт разделения слоёв преграды, изгиба и «вытягивания» тыльного слоя бронесостава. Как правило, в гете-

рогенной броне лицевой слой имеет более высокую твёрдость и предназначен для разрушения снаряда и эффективного гашения его кинетической энергии, а тыльный слой с пониженной твёрдостью смягчает удар и препятствует разлёту осколков. Для повышения живучести между слоями вводится мягкая прослойка, которая служит препятствием распространению трещин.

За рубежом для изготовления многослойной брони используется пакетная прокатка и сварка взрывом [1 ... 3]. Композиционная разнопрочностная броня, выпускаемая по техническим условиям США и Франции, обеспечивает примерно двукратное повышение уровня противопулевой стойкости по сравнению с традиционной гомогенной бронёй. Для её производства используют

метод горячей пакетной прокатки. Этот метод предусматривает сборку пакетов из листов лицевого и тыльного слоя с последующей заваркой кромок и вакуумированием внутреннего пространства. Без вакуумирования достаточная прочность соединения слоев не достигается. Аналогичная технология применена в ФГУП ЦНИИ КМ "Прометей"[1]. Преимущество пакетной прокатки: возможность производства бронелистов практически любой толщины промышленных размеров. Недостаток - затруднено введение между лобовым и тыльным слоем «мягких» прослоек из пластичных сталей. Сварка взрывом позволяет соединять практически любые стали и вводить в состав гетерогенного материала «мягкие» прослойки.

В России АО «ГосНИИМаш» разработана технология получения многослойных материалов сваркой взрывом из высокотвердых сталей типа 110Т13Л, У10А, 40Х13 и броневых сталей [4]. Особенность этой технологии в использовании дорогих высокоскоростных взрывчатых материалов и практически нулевых сварочных зазоров.

Для противопульной брони требуются листы толщиной от 4 мм до 12 мм с соотношением лицевого и тыльного слоя 1:2. Для экспериментального исследования возможности получения бронелистов с использованием сварки взрывом изучили два варианта технологии:

1. Изготовление сваркой взрывом двух-

слойных заготовок и последующую горячую прокатку в заданный размер.

2. Модификация поверхности заготовки лицевого и тыльного слоя путём нанесения сваркой взрывом тонкого листа (1-1,5 мм) малоуглеродистой стали, сборку пакета и его горячую пакетную прокатку.

Методика исследований предусматривала в качестве лицевого слоя использование листы из инструментальной стали типа У8, 9ХС толщиной 10 и 16 мм, тыльного листы из броневой марки 40ХНМ, 45ХН2МФА толщиной 28 и 44 мм, малоуглеродистой стали Ст3 толщиной 1,5 мм. Размеры заготовок 200х500 мм. В качестве взрывчатого вещества использовали смеси гранулированной аммиачной микропористой селитры с дизельным топливом. После сварки взрывом проводился визуальный осмотр заготовок, капиллярная дефектоскопия поверхности плакирующего листа на наличие трещин, ультразвуковая дефектоскопия сплошности соединения слоёв. Из начального и конечного участков двухслойных заготовок были отобраны пробы для исследования структуры соединения на оптическом и сканирующем электронном микроскопе, рентгеноструктурного анализа и прочности соединения слоев. По этой же методике проводилось исследование готового бронелиста. Дополнительно проводились испытания на бронестойкость.

Эксперименты показали, что в процессе

Рис. 1. Виды дефектов при сварке взрывом инструментальной и высокопрочной стали:

а – цветная дефектоскопия магистральных сквозных трещин; б – микротрещины в плакирующем листе; в – микронесплошности на границе соединения

сварки взрывом в плакирующем слое из инструментальной стали наблюдаются магистральные сквозные трещины и его разрушение, образуются микротрещины, которые идут от линии соединения слоёв, а также микронесплошности на границе соединения слоёв (рис. 1).

После сварки взрывом в зоне соединения сталей выявлена значительная пластическая деформация на глубину 0,5 – 1 мм в обе стали, соединение имеет волнообразный характер с шагом волн 1-2 мм, микротвердость зоны соединения в 2 раза превышает исходную. После сварки взрывом и отжига при температуре 850°C в стали У8 вдоль границы сварного шва выявлена обезуглероженная зона шириной 0,1 мм. Двухслойные заготовки марок 9ХС+40ХСН и У8+ 40ХСНМ были подвергнуты горячей прокатке (обжатие 50%), отжигу и закалке.

Исследования образцов после указанных видов обработки показали, что пластическая деформация биметаллических образцов при горячей прокатке с обжатием 50% не внесла существенных изменений в структуру соединения. Наибольшие изменения структуры получены в образцах, подвергнутых горячей прокатке и закалке. Особенность термообработки двухслойных сталей заключается в том, что они имеют существенно разные температуры закалки (У8 – 850°C, 40ХСНМ – 920°C). Для получения максимальной твердости составляющих биметалла использовали многостадийную закалку, включающую импульсную закалку токами высокой частоты. На границе соединения в

узкой зоне имеется относительно мягкий слой с твердостью 3000-4000 HV, а в прилегающей к нему стали 40ХСН тонкий слой с твердостью 5000-5800 HV.

В ОАО «НИИСтали» были проведены испытания на бронестойкость, образцов изготовленных из двухслойной стали марки У8+45ХНМ, которые показали увеличение относительной стойкости для: АКМ Калибр 7,62 Снаряд БЗ в 1,28 раз; СВД Калибр 7,62 Снаряд Б-32 в 1,43 раза; М16А1 Калибр 5,56 Снаряд М193 в 1,24 раза по сравнению с листом из стали 45ХНМ.

Эксперименты по изготовлению сваркой взрывом двухслойной брони с лицевым слоем из инструментальной стали и тыльным слоем из броневой стали с применением низкоскоростных взрывчатых материалов показали, что метод сварки взрывом имеет ограничения по толщине метаемой пластины 10-12 мм для малопластичных и высокопрочных сталей. Это не позволяет рекомендовать его для производства гетерогенной брони.

С целью объединения преимуществ сварки взрывом и горячей пакетной прокатки разработали комбинированную технологию, которая обеспечивает получение бронелиста с высокими прочностными свойствами и бездефектной структурой соединения, с лицевым слоем из инструментальной стали и основным из высокопрочной стали с промежуточной мягкой прослойкой из малоуглеродистой стали.

Технология включала модификацию поверхности заготовки лицевого и тыльного

Рис. 2. Макроструктура сваренного пакета

Рис. 3. Макроструктура прокатанного пакета, структура промежуточного слоя в трёхслойном биметалле

Рис. 4. Образцы после испытаний на изгиб

Рис. 5. Партия бронелистов

а)

б)

Рис. 6. Общий вид разрушения трехслойной брони (а) и процентное соотношение разрушения между слоями (б)

слоя тонким листом (1-1,5 мм) малоуглеродистой стали. Малая величина заряда исключала образование трещин и разрушений в инструментальной и броневой стали. Сборку пакета производили так, чтобы при прокатке происходило соединение модифицированных поверхностей лицевого и тыльного слоя. Собранный пакет из модифицированных сталей подвергается горячей прокатке при температуре около 1100°C и степенью обжатия 70%. Это позволяет за первый проход получить высокопрочное соединение между модифицированными поверхностями, а за последующие проходы получить бронелисты заданной толщины. Выпуск по этой технологии опытной партии биметалла марки У8+Ст.3+45ХН2МФА показал её перспективность.

В структуре соединения слоёв не выявлено дефектов сплошности. Структура соединения после сварки взрывом имеет характерную для этого метода волнообразную форму, практически без литых включений (рис. 2). Сборка и сварка пакета не вызвала затруднений. Микротвёрдость в зоне, прилегающей к сварному шву в Ст.3 составила

150HV, в У8А – 400HV, в 45ХН2МФА 450HV. После горячей пакетной прокатки зона соединения Ст.3+Ст.3 имеет прямолинейный характер без дефектов сплошности (рис. 3), микротвёрдость в этой зоне составляет 150 HV. В соединениях между сталью Ст.3 + У8А и Ст.3 + 45ХН2МФА выявлена обезуглероживенная зона в стали Ст.3, после закалки эта зона незначительно увеличилась. Следует отметить, что микротвёрдость прослойки из стали Ст.3 после закалки составила 300 HV.

Полученная многослойная композиционная броня подвергалась испытаниям на изгиб. Результаты показали отсутствие образования трещин при изгибе металла на угол не менее 120° (рис. 4).

Исследованы свойства биметалла, проведены испытания на бронестойкость, которые выявили повышение бронестойкости на 30%. Расходный коэффициент материалов по всему переделу составляет 1.45, что соответствует среднему расходному коэффициенту при прокатке сталей из слэбов.

Проведение баллистических испытаний многослойной брони показало, что в момент внедрении ударника происходит совместное

Результаты испытаний на бронестойкость опытных партий

Материал бронелиста	Отсутствие пробивания бронелиста при толщине, мм	Относительная бронестойкость	Условия испытаний			
			средство испытаний	расстояние от образца, м	скорость, м/с	количество испытаний
Многослойный	8,9 ^{+0,4}	1,65	- пуля Б-32, патрон 7-БЗ-3, калибр 7,62 мм; - пуля патрона СТ-М2, калибр 7,62 мм; - пуля Р80	10	815-840	470
Гомогенный	15	1				
Зарубежные аналоги биметаллической брони	9,8 ^{+0,4}	1,5				

разрушение ударника и лицевого слоя с образованием трещин, движущихся по направлению ударника. Образовывающиеся трещины вязнут в промежуточном «мягком» слое, предотвращая их развитие вглубь основного слоя. Энергия от ударника перенаправляется на поперечное соединение между слоями из-за чего происходит локальное отслоение от тыльного слоя. Анализ этих зон показал, что расслоение преимущественно происходит по сварному шву между Ст.3 и Ст.3, полученному при пакетной прокатке (рис. 6). При неполном пробитии трещины из лицевого слоя не переходят в тыльный вследствие наличия мягкой прослойки из Ст.3. При сквозном пробое не наблюдается образования откольной пробки. Пробой сводится к проколу преграды с дополнительным поглощением энергии за счёт разделения слоёв преграды, изгиба и «вытягивания» тыльного слоя бронесостава.

Изготовление крупнотоннажных опытно-промышленных партий (рис. 5) показало, что композиционная многослойная броня нового поколения обеспечивает повышение бронестойкости на 30-50% без изменения габаритно-весовых характеристик или снижение веса на 30-50% без изменения бронестойкости (таблица). Прочность соединения

на отрыв составила 380-420 МПа, прочность на срез 250-280 МПа, угол изгиба 120°.

Вывод

Комбинированная технология (сварка взрывом + горячая пакетная прокатка) обеспечивает получение биметалла с высокими прочностными свойствами и бездефектной структурой соединения. Введение в состав многослойной брони прослоек из пластичных металлов позволяет повысить бронестойкость. Комбинированная технология может быть рекомендована для производства износостойкого и броневое биметалла.

Библиографический список

1. Гладышев, С. А. Броневые стали / С. А. Гладышев, В. А. Григорян. – М., Интермет Инжиниринг, 2010. 334 с.
2. Анастасиади, Г. П. Работоспособность броневых материалов / Г. П. Анастасиади, М. В. Сильников – СПб.: Астерион, 2004. – 622 с.
3. Анастасиади, Г. П. Неоднородность и работоспособность стали / Г. П. Анастасиади, М. В. Сильников. – СПб.: Полигон, 2002. – 624 с.
4. Сварка взрывом на тонких зазорах: особенности и перспективы применения насыпных взрывчатых веществ / В. В. Гундорин, Е. И. Ермолович, И. А. Кузнецов, А. С. Смирнов, В. Б. Яшин // Вестник технологического университета. – 2016. – С. 48-52.