РАЗДЕЛ 3. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

УДК 67.017

ДЕФЕКТЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ПЛАКИРОВАНИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЛИСТОВ СТАЛИ ТИТАНОМ, ПРИЧИНЫ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ПУТИ УСТРАНЕНИЯ

А.А. Бердыченко, Л.Б. Первухин, О.Л. Первухина

В статье рассмотрены причины нестабильности качества крупногабаритных листов биметалла «сталь+титан», получаемого сваркой взрывом. Показано, что снижение прочности сварки титанового слоя со стальным с удалением от начала процесса сварки происходит в связи с взаимодействием разогретого ударной волной, движущейся перед линией образования сварного соединения по объёму между свариваемыми поверхностями, титана с кислородом и азотом воздуха. Применение в качестве атмосферы сварки инертных газов аргона или гелия позволяет получить листы биметалла промышленных размеров со стабильно высоким качеством по всей площади листов.

Ключевые слова: сварка взрывом, листы биметалла.

При создании новых материалов важная роль принадлежит слоистым металлическим композиционным материалам – биметаллам, которые объединяют в себе полезные свойства составляющих и обладают новыми качествами отличными от исходных материалов. Такие материалы обладают комплексом ценных свойств: конструкционная прочность и коррозионная стойкость, конструкционная прочность и высокая электропроводность, коррозионная стойкость и жаропрочность и другие сочетания свойств. Применение слоистых металлических композиционных материалов позволяет не только повысить надёжность и долговечность большого класса деталей и оборудования, но и значительно экономить дорогостоящие цветные металлы.

Основная задача при создании технологии производства биметаллов обеспечить прочное соединение слоёв разнородных металлов без изменения их свойств. Наиболее полно эта задача решается при использовании технологии сварки взрывом. Она позволяет получить равнопрочное сварное соединение между свариваемыми слоями разнородных металлов на большой площади при сохранении их исходных свойств.

Многолетние исследования и практический опыт показал, что при сварке взрывом крупногабаритных листов из большинства металлов и сплавов на расстоянии примерно 500 мм от начала процесса сварки структура сварного соединения (размеры волн и вихревых зон) и, как следствие, механические свойства сварного соединения стабилизируется. Однако при сварке взрывом титана на расстоянии порядка 250 мм резко возрастает количество литых включений в соединении, 216

что влечёт за собой увеличение степени структурной и химической неоднородности. На расстоянии 1,5 м прочность соединения падает в несколько раз. появляются свиши. непривары, разрушение плакирующего слоя. Большинство исследователей связывало это с образованием интерметаллида FeTi₂

Проведенные нами исследования структуры сварного соединения титана с титаном показали, что основной причиной ухудшения качества сварного соединения с удалением от начала процесса является горение титана в ударно-сжатом газе, движущимся впереди точки контакта свариваемых пластин в объёме между свариваемыми поверхностями (сварочном зазоре). В результате этого явления перед процессом соударения на свариваемые пластины воздействует мощный поток энергии, предварительно прогревающий свариваемые поверхности вплоть до их оплавления, а иногда и возгорания, что нарушает стационарность процесса сварки [1, 2]. Количество энергии, воздействующее в результате этого явления на свариваемые пластины перед соударением, растёт пропорционально удалению от начала процесса сварки.

В работе [3] теоретически и экспериментально установлено, что введение аргона в сварочный зазор при сварке титана с титаном исключает возможность горения титана в ударно-сжатом газе, движущемся впереди точки контакта по сварочному зазору.

Для проверки выводов о причинах трудности сварки титана взрывом, сделанных на основании исследования образцов сварного соединения титан+титан, провели эксперименты по сварке титана со сталью. Экспери-

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК №4 2009

ДЕФЕКТЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ПЛАКИРОВАНИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЛИСТОВ СТАЛИ ТИТАНОМ. ПРИЧИНЫ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ПУТИ УСТРАНЕНИЯ

ментальные образцы, представленные на рисунке 1, были оснащены «ловушкой», которая позволяла ловить продукты кумулятивного процесса, выбрасываемые из сварочного зазора.

Метаемая пластина изготавливалась из титана марки ВТ1-0 толщиной 8 мм, неподвижная — из стали 20 толщиной 30 мм. Образцы имели длину 2 м. Сварочный зазор герметизировали по длинной стороне. Ловушку изготавливали из стальных пластин толщиной 5 мм. Их поверхность зачищали от окислов. После сварки производили осмотр пластин, исследовали структуру и химический состав поверхностей ловушки и сварного соединения титана со сталью.

В образцах, сваренных на воздухе, на поверхности ловушки выявили наличие сплошного матового пористого покрытия с сеткой микротрещин (рисунок 2 а, б). Толщина покрытия неравномерна и составляет 20-50 мкм. Материал покрытия имеет микротвёрдость 500-700 МПа при микротвёрдости титана – 180 МПа, стали – 120 МПа. Анализ химического состава покрытия показал, что оно состоит из различных оксидов титана. На поверхности покрытия наблюдаются отдельные включения в виде застывших струй, состоящих из карбооксидов железа, и глобул, состоящих из оксидов титана (рисунок 2 а, в). Фаз стали, интерметаллида FeTi и чистого титана в структуре покрытия не наблюдается.

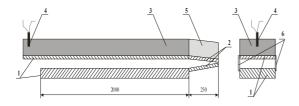


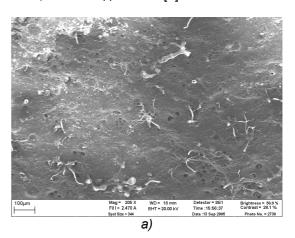
Рисунок 1 — Схема сварки взрывом экспериментальных образцов, где 1 — свариваемые листы из стали и титана; 2 — «ловушка»; 3 — заряд ВВ; 4 — электродетонатор; 5 — песок; 6 — боковые пластины

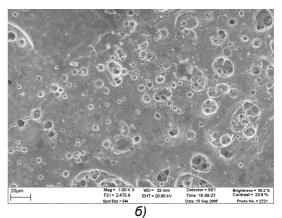
Исследование механических свойств полученного сварного соединения показало, что с удалением от точки инициирования заряда взрывчатого вещества прочность биметалла на отрыв падает с 300 до 1 МПа, растут амплитуда волн и количество оплавленных участков в зоне соединения. Кроме того, имеются хаотично расположенные непривары, имеющие вид вздутий, а также повреждения

плакирующего слоя в виде разрывов и свишей.

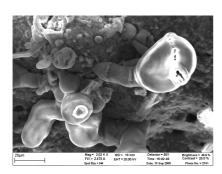
Сравнивая полученные результаты с результатами, наблюдаемыми при сварке титана с титаном [4], можно было ожидать снижения отрицательного влияния горения титана в сварочном зазоре впереди точки контакта, так как замена одной из свариваемых титановых пластин стальной должна привести к уменьшению в двое количества титана в ударно-сжатом газе.

Однако характер, химический состав и количественные характеристики покрытия ловушек оказались идентичными покрытию, наблюдаемому при сварке титана с титаном. Объясняется такое явление тем, что поверхностный слой титана, участвующий в образовании соединения, обладая значительно меньшей теплопроводностью по сравнению со сталью, прогревается до значительно большей температуры, чем сталь. Оценка прогрева металла за фронтом ударносжатого газа, в котором происходит горение титана, показывает, что слой стали толщиной 10 мкм на расстоянии 1 м от начала процесса сварки при скорости точки контакта 2500 м/с может прогреться до температуры порядка 500°С, титана – до 900°С [5].





БЕРДЫЧЕНКО А.А., ПЕРВУХИН Л.Б., ПЕРВУХИНА О.Л.



в)

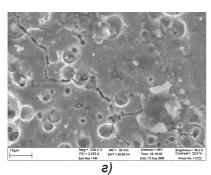


Рисунок 2 – Характерная поверхность ловушек образцов, сваренных взрывом в атмосфере воздуха

Это приводит к повышению пластичности титана, в результате чего формирование кумулятивной струи происходит, в основном, за счёт титана. Повышение концентрации титана в области ударно-сжатого газа приводит к его лавинообразному горению.

Таблица 1 Химический состав покрытия на поверхности ловушки после сварки взрывом в атмосфере воз-

Uyxa							
Объект	Состав (ат. %)						
	С	0	Ti	Fe	Si		
Сплошное покрытие	-	77,88	20,65	0,60	0,87		
Включения в виде шариков	-	75,36	23,74	0,69	0,21		
Включения в виде струи	9,70	66,29	2,22	21,27	0,52		

Поэтому, на поверхности ловушки при сварке взрывом в атмосфере воздуха наблюдается сплошное покрытие из оксида титана (рисунок 2 б, г) и лишь отдельные включения соединений железа (рисунок 2 а, в). Интерметаллиды и дисперсная смесь титана с железом на поверхности ловушки отсутствуют.

Визуальный осмотр ловушек образцов, сваренных при заполнении сварочного зазора аргоном, показал, что после проведения процесса сварки взрывом в атмосфере аргона их поверхность не претерпела изменений. При металлографическом исследовании наблюдаются только следы исходной механической

обработки (рисунок 3). Химический анализ также не выявил наличия поверхностного слоя с составом отличным от состава металла ловушки.

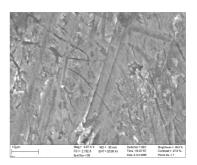


Рисунок 3 – Поверхность ловушки, установленной на образце, сваренном в атмосфере аргона

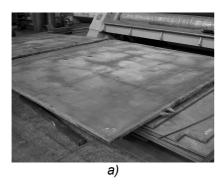
Исследование микроструктуры сварного соединения биметалла «сталь+титан», полученного в среде аргона, выявило значительное снижение количества и размеров вихревых зон (рисунок 4). Проведение механических испытаний (таблица 2) показало, что сварка взрывом в среде аргона титана со сталью позволила получить, на обычно применяемых режимах, соединение по всей поверхности со стабильной структурой и прочностью на отрыв 250-350 МПа, без расслоений при изгибе плакирующим слоем внутрь. Количество литых включений не зависело от удалённости рассматриваемого участка от начала процесса сварки. Условная площадь отдельных несплошностей составила 1 см².

Таким образом, при сварке взрывом титана со сталью, так же как и при сварке титана с титаном, снижение механических свойств и качества сварного соединения с удалением от начала процесса сварки происходит в результате лавинообразного горение мелкодисперсных частиц титана, попадающих в область ударно-сжатого газа, движущуюся по сварочному зазору впереди точки контакта. Снижение эффекта горения в связи с заменой одной из свариваемых титановых пластин стальной не происходит в связи с тем, что титан имеет больше сродство к кислороду, чем железо

Таблица 2 Механические свойства биметалла «сталь+титан», сваренного в аргоне

Марка биметалла, размеры, <i>мм</i>	Прочность соединения, <i>МПа</i>		Испытания, град	
	отрыв	срез	изгиб	боковой изгиб
Сталь 20+ВТ1-0 38(30+8)×2700×2900	250-350	190–250	более 80	более 80

ДЕФЕКТЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ПЛАКИРОВАНИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЛИСТОВ СТАЛИ ТИТАНОМ, ПРИЧИНЫ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ПУТИ УСТРАНЕНИЯ



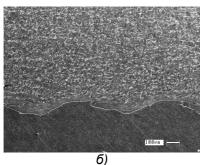


Рисунок 4 — Лист биметалла «сталь+титан» размером 2700×2900 мм, сваренный в атмосфере аргона, (а) и микроструктура сварного соединения (б)

Следует отметить, что нами не установлена роль азота в процессе горения частиц титана и железа в сварочном зазоре соединения азота не выявлены в ловушках. Однако, на поверхности покрытия ловушки и в соединении в литых включениях наблюдаются округлые поры. Это может быть связано с тем. что в условиях высоких температур и давлений азот растворился в металле. При спаде давления за точкой контакта и кристаллизации литых включений, когда снижается растворимость азота, происходит его выделение с появлением на поверхности покрытия округлых пор (рисунок 2 а, б). Замена в сварочном зазоре активного газа инертным исключает прямое горение дисперсных частиц, что снижает их температуру и возможность инициирования горения за счёт газов растворённых в частице.

Проведённые исследования позволили разработать технологию сварки взрывом крупногабаритных листов биметалла «сталь+титан» в среде защитных газов, по которой была сварена опытно-промышленная партия биметаллических листов «сталь09Г2С + титан BT1-0» и «сталь 12X18H10T + титан BT1-0» размером $35 \times 1000 \times 2000$ мм с плакирующим слое толщиной 5 мм [5]. Биметалл имел стабильные по всей поверхности меха-

нические свойства: сплошность сварки -100 %; τ_{cp} >140 МПа; временное сопротивление биметалла с плакирующим слоем $\sigma_{\rm B} = 550 \div 555 \, {\rm M}\Pi {\rm a};$ предел текучести $\sigma_{\rm T} =$ 390÷395 МПа; предельное относительное удлинение δ = 26÷28 %; угол загиба при испытании на изгиб плакирующим слоем наружу, плакирующим слоем вовнутрь, при боковом изгибе - 130÷135°. В сварном соединении отсутствовали крупные вихревые зоны, поры и усадочные раковины. Металл вихревых зон не имел повышенного содержания кислорода и азота. Свойства биметалла, сваренного по разработанной технологии, соответствуют международному стандарту VbTÜV спецификация AD Merkblatt W8 и ГОСТ 10885.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Ишуткин, С.Н. Исследование теплового воздействия ударно-сжатого газа на поверхность соударяющихся пластин [Текст] / С. Н. Ишуткин, В. И. Кирко, В. А. Симонов. // Физика горения и взрыва. 1980. Т. 16, № 6. с. 69—73.
- 2. Бердыченко, А.А. О возможном возгорании выбрасываемых в зазор частиц металла при сварке титана взрывом / А. А. Бердыченко, Л. Б. Первухин, А. А. Штерцер, Б. С. Злобин // Физика горения и взрыва. 2003. Т. 39. № 2. С. 128–136.
- 3. Бердыченко, А.А. Возможность протекания СВС процесса в виде теплового взрыва в сварочном зазоре на примере титана / А. А. Бердыченко, А. А., Л. Б. Первухин, Д. В. Олейников // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Сварка взрывом и свойства сварных соединений" / Волгоград. Гос.тех.ун-т, Волгоград, 2004. с. 65–70.
- 4. Бердыченко, А.А. Особенности структуры сварного соединения титан+титан, полученного сваркой взрывом в среде воздуха и защитных газов / А. А. Бердыченко // Вестник Томского государственного университета. Бюллетень оперативной научной информации. Комозиционные материалы специального назначения. Томск: ТГУ, № 86, июнь 2006. С. 33—40.
- 5. Бердыченко, А.А О возможном возгорании выбрасываемых в зазор частиц металла при сварке титана взрывом / А.А Бердыченко, Л.Б. Первухин, А.А. Штерцер, Б.С. Злобин // Физика горения и взрыва. 2003. Т. 39. № 2. С. 128–136.

Бердыченко А.А., к.т.н., доц., АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: <u>berd50@mail.ru</u>, **Первухин Л.Б., Первухина О.Л.**