

ТРУДНОСТИ СВАРКИ ВЗРЫВОМ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЛИСТОВ БИМЕТАЛЛА С ПЛАКИРУЮЩИМ СЛОЕМ ИЗ ТИТАНА И ПУТИ ИХ ПРЕОДОЛЕНИЯ

А. А. Бердыченко, Л. Б. Первухин

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Применение технологии сварки взрывом, позволяющей получить равнопрочное сварное соединение практически любых пар металлов, имеет неоспоримое по отношению к другим технологиям преимущество при производстве крупногабаритных листов биметалла. Современная промышленность довольно часто использует этот способ для производства биметалла с основным слоем из углеродистой или низколегированной стали и плакирующим слоем из коррозионно-стойкой стали. Однако исследование потребности зарубежного рынка говорит о том, что из широкого круга биметаллов, применяемых в промышленности, первое место занимает биметалл сталь–титан. Получение этого биметалла затруднено в связи с низкой взаимной растворимостью железа и титана. Отечественные металлургические комбинаты не располагают в достаточной мере оборудованием, позволяющим получать этот биметалл прокаткой.

Первые эксперименты по сварке титана со сталью взрывом дали обнадеживающие результаты. Однако получение крупногабаритного сварного соединения площадью до нескольких квадратных метров вызвало большие трудности, связанные с тем, что на расстоянии от начала процесса сварки более 1,5÷2,0 м наблюдается не только снижение механических свойств сварного соединения и ухудшение его структуры, но и разрушение плакирующего титанового слоя. Например, при плакировании листов Ст3 размером 40×700×3800 мм титаном ВТ1-0 толщиной 4 мм было выявлено, что с удалением от точки инициирования заряда ВВ прочность биметалла на отрыв падает с 300 МПа до 1 МПа. Это явление сопровождается ростом количества оплавленных участков в зоне соединения, увеличением размеров волн и хаотично расположенных неприваров, имеющих вид вздутий, а также повреждения плакирующего слоя в виде вырывов [1]. Авторы работы [1] высказали предположение, что движение воздуха в объеме между свариваемыми поверхностями при его вытеснении приводит к уве-

личению расстояния между ними (сварочного зазора) впереди точки контакта.

В [2] также отмечается, что ударно-сжатый и разогретый до высокой температуры газ в зазоре разогревает металл ещё до соударения пластин. Причём этот эффект усиливается с расстоянием от места инициирования процесса. Утверждается, что на достаточно большом расстоянии поступившая из газа в металл энергия становится сравнимой с энергией, выделяющейся в зоне шва при столкновении пластин, что может привести к их оплавлению. Однако гипотезы, выдвинутые авторами работ [1, 2], не объясняют, почему ухудшение свойств сварного соединения происходит в основном при сварке титана.

Для исследования этого явления был поставлен эксперимент, при котором сваривали соединение титан-титан (марка ВТ1-0, толщина 5 мм) длиной 1,9 м. На полученных образцах изучали изменение структуры сварного соединения с удалением от начала процесса сварки, которые приведены в [3], и зависимость усреднённой толщины оплавленного металла от длины сварки и скорости точки контакта.

В результате изучения структуры сварного соединения пришли к выводу, что газ, находящийся в области образования сварного соединения, активно влияет на структуру и процесс образования сварного соединения. Зонами повышенной концентрации газа являются вихревые зоны, содержание кислорода и азота в виде твёрдых растворов, нитридов и оксидов в которых растёт с удалением от начала процесса сварки и увеличивается в несколько десятков раз по сравнению с концентрацией в исходном металле. В то же время в металле сварного соединения, окружающем вихревые зоны, повышение концентрации газа не выявлено. Снижение скорости точки контакта несколько понижают насыщение металла вихревых зон газами, но с удалением от начала процесса сварки рост концентрации газов в них остаётся стабильным и уже на удалении порядка 0,3...0,5 м превышает допустимое значение. С удалением от начала

процесса сварки наблюдается периодический рост размеров вихревых зон, которые иногда сливаются, в результате чего образуется соединение со сплошной прослойкой из металла с повышенной в десятки раз концентрацией кислорода и азота. Возникновение такой прослойки зачастую приводит к разрушению свариваемых пластин во время сварки.

Исследования зависимости усреднённой толщины оплавленного металла $\delta_{\text{в}}$ с удалением от начала процесса сварки L (длины сварки) показали, что рост длины сварки приводит к увеличению количества оплавленного металла в сварном соединении (рисунок 1). Снижение экспериментальных значений $\delta_{\text{в}}$ к концу свариваемых образцов связано, по-

видимому, с влиянием свободного конца пластины. В непосредственной близости к началу процесса сварки количество оплавленного металла хорошо совпадает со значениями, полученными при расчёте по формуле, предложенной авторами работ [4, 5], учитывающей так называемое "мгновенное тепло", выделяющееся в процессе деформации металла в области образования сварного соединения. Однако с ростом L наблюдается общий рост $\delta_{\text{в}}$, сопровождающийся периодическими всплесками относительно среднего значения. Причиной этому должен служить какой-то источник тепла, воздействие которого на образование сварного соединения растёт с удалением от начала процесса сварки.

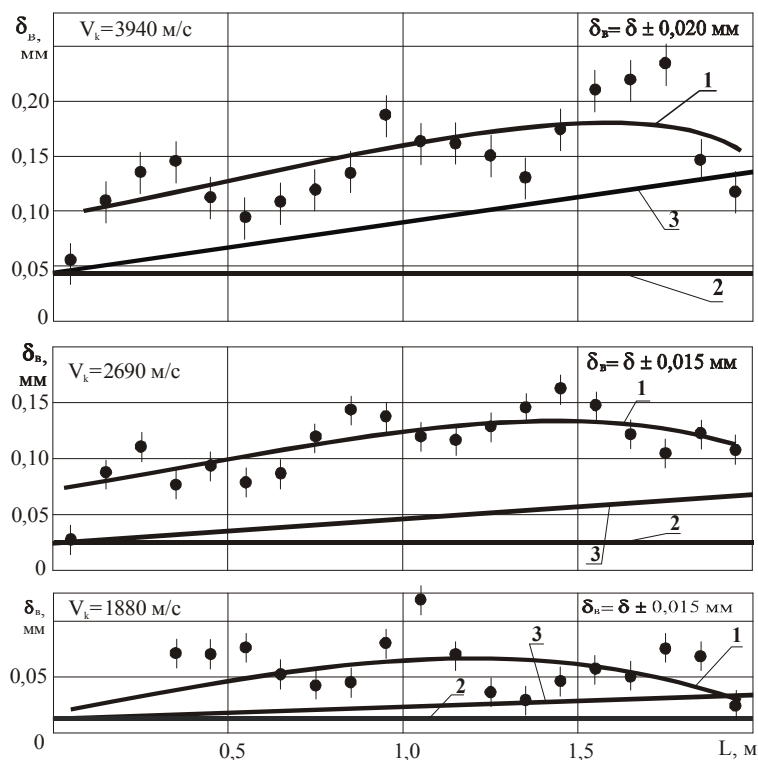


Рисунок 1 – Изменение усреднённой толщины оплавленного металла $\delta_{\text{в}}$ с удалением от начала процесса сварки L и скорости точки контакта $V_{\text{к}}$ при сварке соединения титан-титан, где 1 – аппроксимация экспериментальной зависимости средней толщины металла вихревых зон; 2 – расчётная средняя толщина оплавленного за счёт мгновенного тепла металла; 3 – расчётная средняя толщина оплавленного металла с учётом энергии, поступающей из сгустка ударно-сжатого газа, движущегося впереди точки контакта

Оценка влияния на рост количества оплавленного металла энергии сгустка ударно-сжатого газа, движущегося впереди точки контакта, проведённая по усовершенствованной методике, предложенной в работе [3], даёт заниженные значения $\delta_{\text{в}}$ (прямая 3). Однако эта методика учитывает только тепловую энергию, возникающую в результате сжатия газа в удар-

ной волне. В то же время, высокая химическая активность титана, при взаимодействии с газами атмосферы при температурах порядка нескольких сотен градусов, даёт основание предположить, что дополнительным источником энергии при образовании сварного соединения с титаном может служить тепло, выделяющееся при экзотермических реакциях меж-

ТРУДНОСТИ СВАРКИ ВЗРЫВОМ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЛИСТОВ БИМЕТАЛЛА С ПЛАКИРУЮЩИМ СЛОЕМ ИЗ ТИТАНА И ПУТИ ИХ ПРЕОДОЛЕНИЯ

ду поверхностными слоями титана, прогретыми до высоких температур ударно-сжатым газом, титаном, выброшенным в область ударно-сжатого газа в процессе кумулятивной очистки свариваемых поверхностей, и кислородом и азотом воздуха [6].

Правильность этого вывода подтвердили эксперименты по сварке соединений титан–титан в среде инертных газов (аргон и гелий). Сварные соединения, полученные по этой технологии, не имели снижения прочности с ростом L . Структура соединения по всей площади сварки не имела значительных химических и структурных неоднородностей. При сварке в гелии не наблюдался рост δ_v с удалением от начала процесса сварки. Применение аргона не избавило от общего роста δ_v , но периодические всплески δ_v , наблюдаемые при сварке в воздухе, исчезли, а структура расплавов была близка к структуре основного металла и не имела химической неоднородности.

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 сталь 09Г2С – титан ВТ1-0 и сталь 12Х18Н10Т – титан ВТ1-0 размером 35×2000×3000 мм с плакирующим слоем толщиной 5 мм [5] (рисунок 2). Биметалл имел стабильные по всей поверхности механические свойства: сплошность сварки – 100%; $\sigma_{ср} > 140$ МПа; σ_v биметалла с плакирующим слоем – 550÷555 МПа; σ_t биметалла с плакирующим слоем – 390÷395 МПа; $\delta = 26\div 28\%$; 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.



Рисунок 2 – Биметаллический лист «сталь 09Г2С + титан ВТ1-0» размером 35×2000×3000 мм с плакирующим слоем толщиной 5 мм, сваренный взрывом

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В. М. Кудинов, А. Я. Коротеев. Сварка взрывом в металлургии. М: Металлургия, 1978 – 168 с.
2. С. Н. Ишуткин, В. И. Кирко, В. А. Симонов. Исследование теплового воздействия ударно-сжатого газа на поверхность соударяющихся пластин // ФГВ. 1980. Т. 16, № 6. – с. 69-73.
3. Бердыченко А. А., Первухин Л. Б. Закономерности изменения структуры сварного соединения, полученного сваркой взрывом, с увеличением габаритов на примере титана // Сварка взрывом и свойства сварных соединений: Межвузовский сборник научных трудов / ВолгГТУ. Волгоград, 2000. – с. 102–114.
4. Дерибас А. А. Физика упрочнения и сварки взрывом. 2е изд., доп. и перераб. – Новосибирск: Наука, 1980. – 224 с.
5. Бердыченко А. А., Первухин Л. Б., Цыбочкин С. Г. Сравнительные исследования свойств крупногабаритных заготовок сталь – титан, полученных сваркой взрывом в среде защитных газов и воздуха // Слоистые композиционные материалы – 2001: Тезисы докладов международной конференции / Волгоград, 2001. – с. 155–156.
6. Бердыченко А. А. О возможном возгорании выбрасываемых в зазор частиц при сварке титана взрывом / А. А. Бердыченко, Б. С. Злобин, Л. Б. Первухин, А. А. Штерцер // Физика горения и взрыва – 2003. – № 2 – с. 128–136.