

УДК 621.793.5

Крымов В. Н.

## ПРОЧНОСТЬ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ СТАЛИ, ОЦИНКОВАННОЙ ТЕРМОДИФФУЗИОННЫМ СПОСОБОМ

Цинкование широко применяется для защиты от коррозии элементов металлоконструкций. Как правило, после цинкования сборка конструкций осуществляется с помощью болтовых или иных соединений, не повреждающих покрытия. Сварка оцинкованных деталей применяется редко, что связано не только с известным снижением свариваемости, вызванным испарением цинка, но и необходимостью последующей защиты сварного шва от коррозии [1, 2]. Для улучшения свариваемости используют различные приемы: снимают цинковый слой на свариваемых кромках, для более полного удаления паров цинка снижают скорость сварки и увеличивают зазор между деталями, применяют продольные колебания дуги и др. Как альтернатива оцинкованные детали могут соединяться сварко-пайкой. Причем опубликованная информация по данной теме касается почти исключительно покрытий, полученных гальваническим или горячим методами.

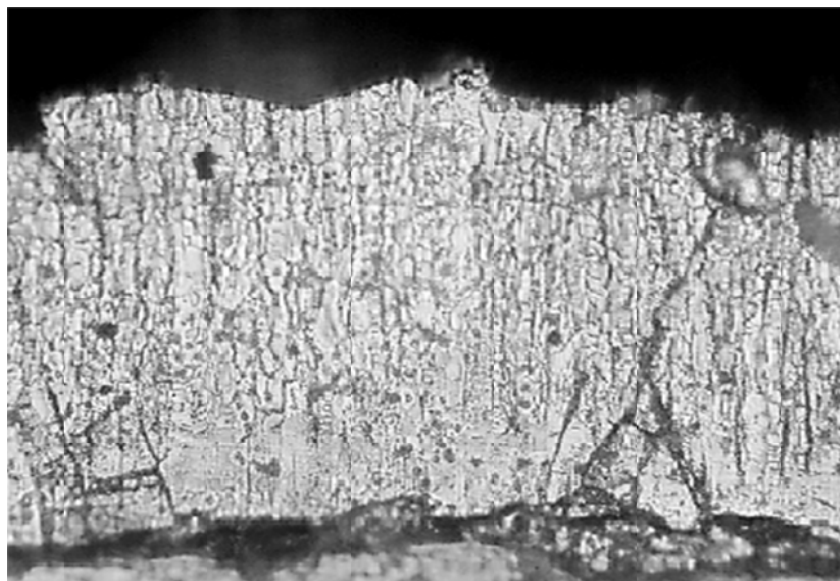
Литература содержит крайне ограниченные данные по сварке стали, оцинкованной термодиффузионным методом. Как правило, констатируется удовлетворительная свариваемость и достаточно высокая коррозионная стойкость шва. Последнее утверждение вызывает понятные сомнения: как известно, цинковое покрытие в случае повреждения обеспечивает электрохимическую защиту лишь на расстоянии 1–2 мм. Для полного предотвращения коррозии металла шва рекомендуется применять присадку из нержавеющей стали [3].

Потребность в соединении диффузионно оцинкованных изделий сваркой особенно актуальна. Это объясняется ограниченностью размеров цинкуемых деталей, что обусловлено размерами рабочего пространства термических агрегатов, в качестве которых чаще всего применяются ретортные печи. Поэтому возможность сварки деталей с покрытием позволила бы значительно расширить сферу применения термодиффузионного цинкования. При этом необходимо подчеркнуть, что диффузионные цинковые слои отличаются наилучшим качеством и коррозионной стойкостью [4–6].

Целью данной работы являлось изучение свариваемости низкоуглеродистой стали после термодиффузионного цинкования.

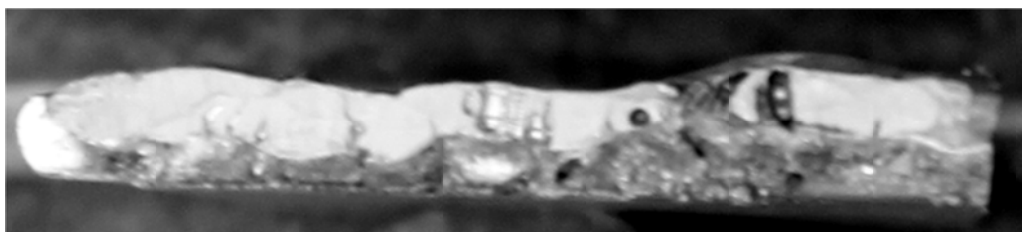
Образцы из стали Ст. 3 размером  $200 \times 150 \times 3$  мм цинковали в ретортной промышленной печи при  $420^\circ\text{C}$ . Полученные образцы сваривали встык полуавтоматической сваркой в среде углекислого газа. Зазор между образцами составлял 1,5 мм. В качестве присадочной проволоки использовали проволоку Св-08Г2С и Св-04Х19Н9. Сваривали как с удалением оцинкованного слоя на кромках, так и без удаления. Свариваемость оценивали по прочности сварного шва, которую определяли испытаниями на растяжение по ГОСТ 6996-66. Для этого сваренные образцы разрезали поперек шва абразивным диском на полосы шириной 25 мм. Испытания проводили на разрывной машине FP-100. На изломе, подсчитывали долю поверхности, занятую порами, определяя, таким образом, фактическую площадь поперечного сечения. Коррозионную стойкость сваренных образцов проверяли испытаниями в 3 %-ом растворе хлорида натрия в условиях переменного смачивания. Длительность испытаний составила 2 месяца. Стойкость оценивали по изменению толщины образца.

Структура цинкового слоя на всех образцах представлена слоем интерметаллидов, состоящим из  $\gamma$  и  $\delta_1$ -фаз и слоя твердого  $\alpha$ -раствора (рис. 1). Толщина слоя составила 20 мкм.

Рис. 1. Микроструктура слоя интерметаллидов,  $\times 400$ 

Как показали опыты, сварка диффузионно оцинкованных образцов проходит с меньшими трудностями, чем, например, оцинкованных в расплаве. Причина этого заключается, по-видимому, в менее интенсивном испарении цинка из-за более высокой температуры плавления железоцинковых интерметаллидов. Тем не менее, выделение белого дыма – оксида цинка, при сварке происходит достаточно интенсивно. Это требует применения соответствующих мер по охране труда сварщика. Поверхность наплавленного валика во всех случаях имела нормальный вид, без макро дефектов.

При испытаниях на растяжение разрушение всех образцов произошло по сварному шву. Следствием испарения цинка является образование пор в сварном шве (рис. 2). Интересно, что поверхность пор имеет характерные для железа цвета побежалости – от желтого до светло-синего.

Рис. 2. Макроструктура излома сварного соединения,  $\times 2$ 

Вероятно, это связано с тем, что при образовании пузырьков паров цинка в них проникает воздух из нижней части сварочной ванны. Выделение паров цинка является причиной непроваров. На некоторых изломах наблюдали отслоение части наплавленного металла от образца. При этом поверхность отслоения имела цвета побежалости, т. е. сваривание в этом участке вообще отсутствовало. Поэтому, при расчете предела прочности учитывали только фактическую площадь сварного соединения.

Металлографическое исследование показало, что строение сварного шва вполне обычно и представлено видманштеттовой структурой (для присадочной проволоки Св-08Г2С).

Влияние методики сварки оцинкованных образцов на прочность сварного соединения показано на рис. 3. Как следует из рис. 3 удаление цинкового слоя перед сваркой незначительно повышает прочность соединения. Построение зависимости прочности от пористости

сварного шва (для образцов одной группы, например, без зачистки кромок и с присадкой Св-08Г2С и т. д.) показало, что она не является линейной. Это говорит о влиянии других факторов на прочность соединения. По-видимому, не испарившийся цинк растворяется в металле шва и вызывает упрочнение. По данным [3] в Fe- $\alpha$  при комнатной температуре растворяется до 4,5 % цинка. Максимальная растворимость цинка в двухкомпонентной системе Fe-Zn достигает 46 % при 780 °С [7].

Это предположение подтверждается результатами измерения твердости сварного шва (табл. 1). Предварительное удаление цинкового слоя приводит к падению твердости металла сварного шва в среднем на 3,5 единицы.

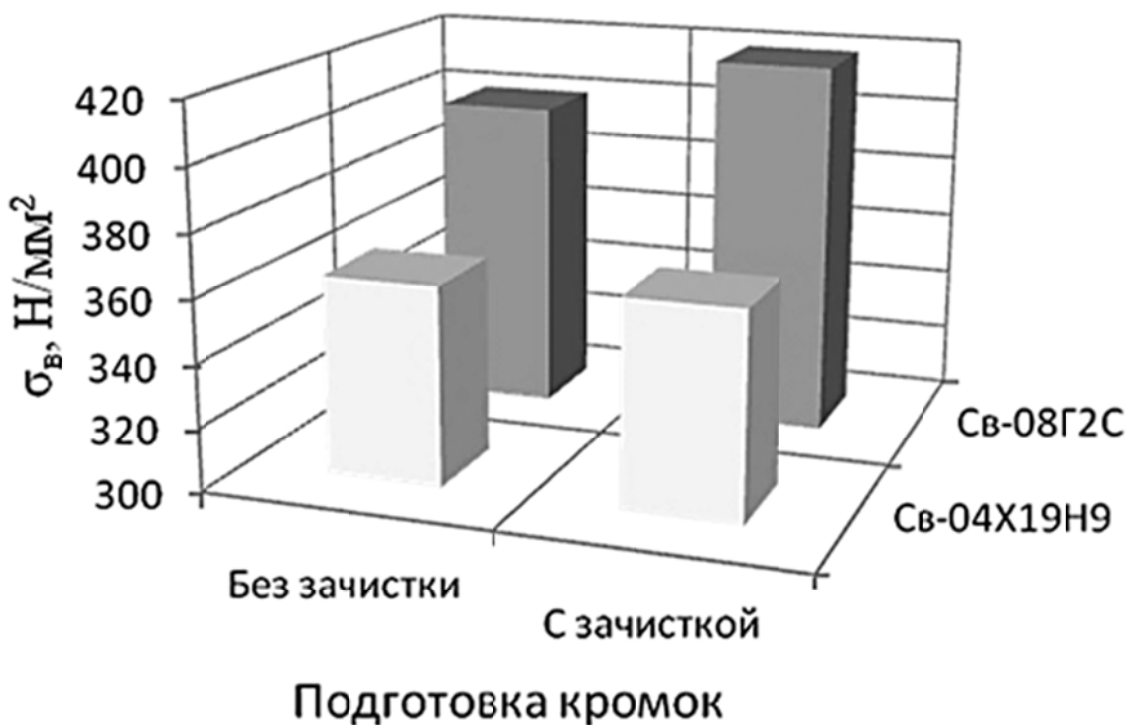


Рис. 3. Влияние материала присадочной проволоки и способа подготовки кромок на предел прочности сварного соединения (средние значения по 3–5 испытаниям)

Однако для отдельных образцов разница составляла HRB 7–10. При использовании присадочной проволоки с аустенитной структурой твердость практически не меняется. Видимо, причина этого заключается в значительно меньшей растворимости цинка в аустените (максимальная растворимость составляет 8 % при 1100 °С).

Таблица 1

Влияние способа подготовки кромок образцов перед сваркой на твердость сварного шва, HRB

Подготовка кромок	Материал сварочной проволоки	
	Св-08Г2С	Св-04Х19Н9
Без зачистки	94,5	95
С зачисткой	91	95

Пластичность сварных соединений невысока. Относительное удлинение большинства образцов составило 1 %. Лишь пару образцов показали значение  $\delta = 4-6$  %.

Коррозионные испытания оцинкованных образцов после сварки показали следующее. При использовании присадки из стали Св-08Г2С наблюдается заметная коррозия металла сварного шва. После испытаний снижение высоты наплавленного валика составило 0,4–0,5 мм. Поскольку при сварке оцинкованный слой разрушается на расстоянии 2–3 мм от сварного шва, то околошовная зона также корродирует с образованием впадинки глубиной 0,3–0,5 мм. Причем коррозия околошовной зоны развивалась на значительно большем расстоянии от шва, чем можно было бы ожидать.

В случае использования в качестве присадки проволоки Св-04Х19Н9 разрушение околошовной зоны возрастает вследствие проявления контактной коррозии. Сам сварной шов при этом не корродирует. Граница между швом и околошовной зоной проявляется очень резко. Высота образовавшегося порога составляет 0,5–0,6 мм.

Таким образом, повреждение покрытия при сварке вынуждает использовать дополнительную защиту сварного шва. Это может осуществляться различными методами: от наиболее простого – покраски до газотермического напыления цинком и наплавки цинковой проволокой.

## ВЫВОДЫ

Стальные образцы, оцинкованные термодиффузионным методом, свариваются легче, чем образцы, оцинкованные в расплаве даже без предварительного удаления цинкового слоя.

Удаление оцинкованного слоя позволяет повысить прочность сварного соединения лишь на 3–5 % по сравнению с образцами, сваренными без предварительной подготовки кромок. На прочность сварного соединения влияют различные факторы: пористость, растворение цинка в металле шва. Так, сварка без удаления оцинкованного слоя приводит к повышению твердости металла шва в среднем на HRB 3,5.

Сварка оцинкованных образцов нарушает сплошность покрытия и вызывает коррозию как самого шва, так и околошовной зоны, что требует применения дополнительной защиты.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Слуцкая Т. М. Сварка оцинкованной и алитированной стали / Т. М. Слуцкая // Автоматическая сварка. – 1979. – № 7. – С. 39–41.
2. Стеклов О. И. Поведение сварных и паяных соединений оцинкованных сталей в коррозионной среде / О. И. Стеклов, С. К. Павлюк, А. В. Лупачев // Сварочное производство. – 2012. – № 4. – С. 3–11.
3. Проскуркин Е. В. Диффузионные цинковые покрытия / Е. В. Проскуркин, Н. С. Горбунов. – М. : Металлургия, 1965. – 247 с.
4. Цинкование : справочник / под ред. Е. В. Проскуркина. – М. : Metallurgy, 1988. – 528 с.
5. ГОСТ Р 9.316-2006. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия термодиффузионные цинковые. Общие требования и методы контроля. – Введен – 01.07.2007. – М. : Стандартинформ, 2006. – 12 с.
6. Иващенко В. Б. Повышение антикоррозионной стойкости заземлителей методом термодиффузионного цинкования / В. Б. Иващенко // Вестник связи. – 2008. – № 5. – С. 35–36.
7. Диаграммы состояния двойных металлических систем : справочник. В 3 т. Т. 2 / под общ. ред. Н. П. Лякишева. – М. : Машиностроение, 1997. – 1024 с.

Статья поступила в редакцию 11.10.2012 г.