

УДК 621.791.85.011:546.56:669.140

Гавриш П. А.

АНАЛИЗ ГАЗОВОГО ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПОДОГРЕВА ПРИ СВАРКЕ МЕДИ СО СТАЛЬЮ

Выполнение неразъемных сварных соединений медных сплавов, а также меди со сталью существенно отличается от сварки сталей в силу различия теплофизических свойств этих металлов. Необходимо учитывать, что медь отличается теплопроводностью в 6 раз выше, чем у железа, и коэффициент линейного расширения меди в 1,5 раза больше, чем у стали. Ввиду высокой теплопроводности меди большая часть вводимого при сварке тепла отводится от зоны сварки, а это приводит к необходимости подвода к месту сварки значительно большего количества тепла, чем при сварке других металлов. Поэтому сварку меди со сталью ведут с предварительным и сопутствующим подогревом [1].

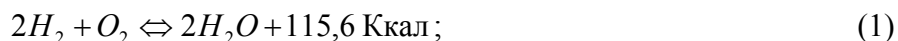
Указанные физические свойства меди затрудняют ее локальный разогрев при сварке. В то же время высокая скорость охлаждения снижает время существования сварочной ванны, затрудняя прохождение металлургических процессов в расплавленном металле.

В качестве предварительного подогрева используют нагрев газовыми горелками, работающими на пропан-бутановой смеси или природном газе [2]. Большая тепловая мощность таких горелок позволяет производить эффективный нагрев локальной зоны сварки. Однако при повышенных погонных энергиях наблюдается рост зерна аустенита в сталях и образуется грубозернистая феррито-перлитная структура видманштеттового типа с пониженной ударной вязкостью. С целью исключения появления закалочных структур применена локальная термическая обработка сварного соединения (медную часть сваренной детали после сварки не нагревали, а локально нагревали только стальную часть детали). В результате были получены удовлетворительные показатели качества сварного шва [2–3].

Целью исследования является анализ традиционных видов предварительного подогрева и их воздействия на свариваемые металлы и выбор способа предварительного подогрева, не имеющего недостатков газового подогрева.

Резкий перепад температур, высокие тепловые напряжения приводят к высоким остаточным сварочным напряжениям, способствующим появлению горячих трещин. Кроме того, в условиях сварки медь окисляется как за счет газовой атмосферы, так и за счет обменных реакций с компонентами флюсов и электродных покрытий. Науглероживание поверхности свариваемых деталей в результате газового подогрева снижает качественные показатели сварного шва меди со сталью. О взаимодействии меди с газами в зоне сварки удобно судить по величинам констант равновесий этих газов.

Водяные пары в зоне сварки диссоциируют в основном двумя наиболее вероятными способами [3] (1, 2):



В процессе диссоциации водяных паров может создаваться два вида состояния атмосферы при сварке – окислительная и восстановительная [4]. Например, для реакции (1) константу равновесия можно выразить уравнениями (3–5):

$$K_p = \frac{P_{H_2}^2 \cdot P_{O_2}}{P_{H_2O}^2}; \quad (3)$$

$$P_{O_2(H_2O)} = K \left(\frac{P_{H_2O}}{P_{H_2}} \right)^2; \quad (4)$$

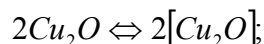
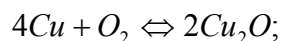
$$P_{O_2(H_2O)} = K \left(\frac{\%H_2O}{\%H_2} \right)^2, \quad (5)$$

где K_p – константа равновесия; P_{O_2} – парциальное давление кислорода, МПа;

P_{H_2O} – парциальное давление водяных паров, МПа;

P_{H_2} – парциальное давление водорода, МПа.

Реакцию окисления меди в зоне сварки можно представить следующей формулой (6):



Константу равновесия можно выразить следующим уравнением (7):

$$K_p = \frac{a_{Cu}^4 \cdot P_{O_2}^1}{a_{[Cu_2O]}^2}, \quad (7)$$

где a_{Cu} – концентрация чистой меди; P_{O_2} – парциальное давление кислорода, МПа;

$a_{[Cu_2O]}$ – концентрация закиси меди.

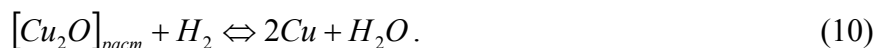
Если принять в расчетах концентрацию чистой меди за единицу $a_{Cu} = 1$, (согласно ГОСТ 859 – 2001), а концентрацию Cu_2O в растворах можно выразить через процентное содержание закиси меди в данном насыщенном растворе, т. е. (8):

$$a = \frac{[\%Cu_2O]}{[\%Cu_2O_{насыщ}]}. \quad (8)$$

То в этом случае константа равновесия для реакции (6) будет вычислена по формуле (9):

$$K_p = \frac{P_{O_2}^1}{a_{Cu_2O}^2}. \quad (9)$$

При диссоциации водяного пара протекает реакция (10):



Для этой реакции константа равновесия в зоне сварки наступает при условии (11):

$$P_{O_2} = P_{O_2}^1 \quad (11)$$

в системе $H - H_2O$ над раствором Cu_2O .

Это условие равновесия можно выразить следующим образом (12):

$$P_{O_2} \cdot a_{Cu_2O}^2 = K_R \left(\frac{\%H_2O}{\%H_2} \right)^2 \quad (12)$$

или (13):

$$a_{Cu_2O} = \frac{\%H_2}{\%H_2O} = K_1, \quad (13)$$

где $K_1 = \frac{K_{P_1}}{P_{O_2}}$.

Если же в зоне сварки (14):

$$P_{O_2} > P_{O_2}^1 \quad (14)$$

в системе $H - H_2O$ над раствором Cu_2O , то среда диссоциирующего водяного пара по отношению к жидкой меди будет окислительной.

А если в зоне сварки (15):

$$P_{O_2} < P_{O_2}^1 \quad (15)$$

в системе $H - H_2O$ над раствором Cu_2O , то среда диссоциирующего водяного пара по отношению к жидкой меди будет восстановительной.

Рассматривая влияние реакции (2), протекающей в зоне сварки, необходимо отметить, что свободный гидроксил является также сильным окислителем, поэтому существенного влияния не оказывает.

Диссоциация паров воды по реакции (1) сопровождается выделением водорода, а это является одной из причин повышения его растворимости в меди [4]. Если же в сварочной ванне будут присутствовать пары металлов, обладающих большим химическим сродством к кислороду чем медь, (например железо, марганец и др.), то пары воды будут окислять их [4]. При сварке меди со сталью в сварочной ванне, естественно, присутствуют пары Fe , поэтому освободившийся при окислении железа водород будет растворяться в меди, вызывая так называемую «водородную болезнь», снижая тем самым качественные показатели сварного шва (16):



Нагрев газовыми смесями металла перед сваркой приводит к дополнительному взаимодействию расплавленного металла (меди и стали) с углекислым газом [4].

Взаимодействие расплавленной меди с углекислым газом аналогично ее взаимодействию с водяным паром. Если сравнить разности упругостей диссоциации закиси меди и углекислого газа с закисью меди и водяным паром, то для взаимодействия с углекислым газом она большая, чем для взаимодействия с водяным паром, а это означает, что возможность окисления меди углекислым газом несколько меньшая, чем водяным паром.

Процесс диссоциации можно выразить следующей реакцией (17):



Константу равновесия можно определить по формуле (18):

$$K_{P_2} = \frac{P_{CO}^2 \cdot P_{O_2}}{P_{CO_2}^2}. \quad (18)$$

Либо по формуле (19):

$$P_{O_2} = K_{P_2} \left(\frac{\%CO_2}{\%CO} \right)^2. \quad (19)$$

Причем в реакции (20):



Равновесие наступит при условии (21):

$$P_{O_2} = P_{O_2}^1 \quad (21)$$

в системе $CO - CO_2$ над раствором Cu_2O , то есть при условии (22):

$$P_{O_2} \cdot a_{Cu_2O}^2 = K_{P_2} \left(\frac{\%CO_2}{\%CO} \right)^2. \quad (22)$$

Если заменить $K_2 = \frac{K_{P_2}}{K_{O_2}}$, то в результате получим (23):

$$a_{Cu_2O} = \frac{[\%CO]}{[\%CO_2]} = K_2. \quad (23)$$

При других соотношениях между P_{O_2} и $P_{O_2}^1$ в системе $CO - CO_2$ над раствором Cu_2O создается восстановительная либо окислительная атмосфера по отношению к расплавленной меди.

Приведенные расчетные данные (рис. 1) согласуются с экспериментальными данными [5–7].

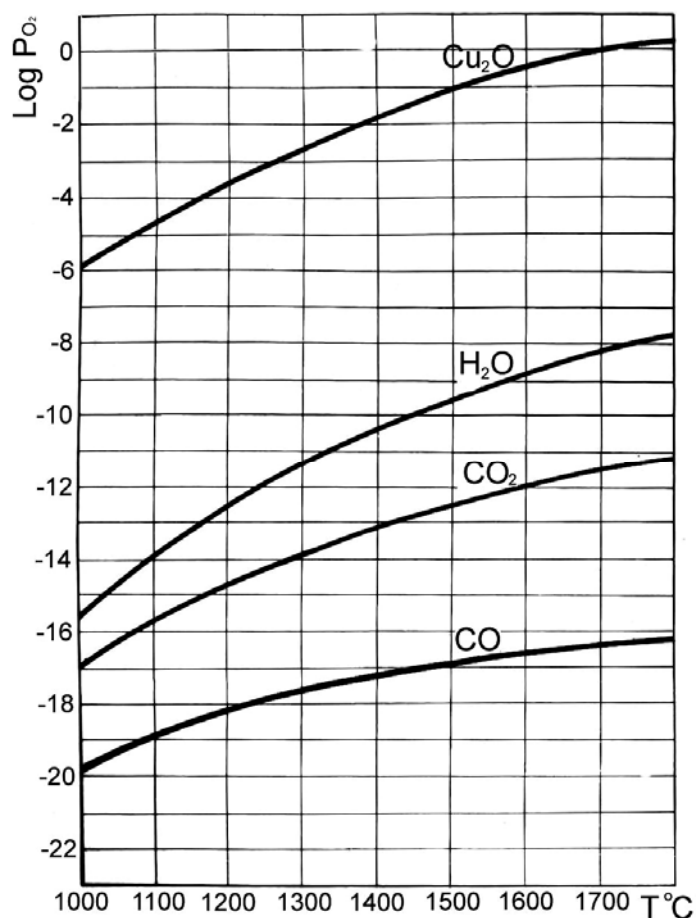


Рис. 1. Зависимость упругости диссоциации закиси меди и газов в процессе сварки (при постоянной концентрации) от температуры

Таким образом, наиболее устойчивый оксид меди Cu_2O , который образует растворы в жидкой меди. Однако, при кристаллизации (рис. 1) он теряет свою устойчивость из-за образования эвтектики $Cu - Cu_2O$. Водород (пары воды), который растворяется в металле, взаимодействует с оксидом меди и восстанавливает его до Cu , но образующиеся при этом пары воды не обладают способностью диффузии в металл, а разрушают его по границам зерен.

Углекислый газ, присутствующий при газовом подогреве, как показывает приведенный график (рис. 1), при любых показаниях температуры оказывает вредное воздействие на качество сварного шва.

Таким образом, газосварочное пламя оказывает сильное тепловое и химическое воздействие на свариваемые металлы. Химическое воздействие может состоять в окислении или раскислении металла, в науглероживании и, наконец, в насыщении водородом.

Наиболее значимыми недостатками газового подогрева является то, что характер протекания той или иной реакции будет зависеть как от состава пламени, так и от расстояния между кончиком горелки и поверхностью детали. Поэтому даже при тщательной регулировке пламени при газовом подогреве может образоваться ряд окислов, загрязняющих шов, а иногда и препятствующих сплавлению основного и присадочного металла.

Для предварительного подогрева при сварке меди со сталью целесообразно использовать такие виды подогрева, которые не загрязняют сварочный шов вредными элементами и не снижают качество сварного шва. При предварительном подогреве должна быть плавная регулировка температуры и возможность оперативно влиять на качество сварного шва.

ВЫВОДЫ

Газовое пламя оказывает сильное химическое и тепловое воздействие на металлы при сварке. Науглероживание металла, окисление, «водородная болезнь» меди – это следствия предварительного газового подогрева.

Назрела необходимость исследования других видов предварительного подогрева, например, индукционного и контактного для повышения качества сварных швов меди со сталью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуревич С. М. *Справочник по сварке цветных металлов* / С. М. Гуревич. – К. : Наукова думка, 1981. – 608 с.
2. Гавриш П. А. *Локальная термическая обработка при сварке меди и стали* / П. А. Гавриш // Сборник докладов 8-й Международной научно-технической конференции «Оборудование и технология термической обработки металлов и сплавов» ОТТОМ-8 г : Харьков, 28 мая–1 июля, 2007. – Т 1. – С. 133–137.
3. Думов С. И. *Технология электрической сварки плавлением : учебник для машиностроительных техникумов* / С. И. Думов. – 3-е изд. доп. и перераб. – Л. : Машиностроение, 1987. – 461 с.
4. *Теория сварочных процессов* / В. Н. Волченко, В. М. Ямпольский, В. А. Винокуров и др.; под ред. В. В. Фролова. – М. : Высшая школа, 1988. – 559 с.
5. Гавриш П. А. *Термодинамические особенности взаимодействия меди и железа в сварочной ванне* / П. А. Гавриш, М. А. Турчанин // Вестник ДГМА. – 2006. – № 2 (4). – С. 75–78.
6. *Исследование взаимодействия компонентов ванны при сварке деталей металлургического оборудования* / В. В. Чигарев, И. В. Серов, П. А. Гавриш, М. А. Турчанин, В. Д. Кассов // *Захист металургійних машин від поломок : зб. наук. пр.* – Маріуполь, 2005. – Вип. 8. – С. 214–223.
7. Турчанин М. А. *Термодинамика жидких сплавов. Стабильные и метастабильные фазовые равновесия в системе медь-железо* / М. А. Турчанин, П. Г. Агравал // *Порошковая металлургия.* – Киев, 2001. – № 7/8. – С. 34–52.
8. *Технологические основы сварки и пайки в авиастроении* / Под ред. В. А. Фролова. – М. : Интермет-инжиниринг, 2002. – 456 с.