

УДК 621.791.

**Трофимов А. В., Трембач И. А., Трембач Б. А.**

## **ВЫБОР ПРИСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ НАПЛАВКИ ПОДСЛОЯ ПРИ СВАРКЕ МЕДИ М1 СО СТАЛЬЮ 12Х18Н10Т**

Использование сварных соединений из разнородных сталей рационально в случаях, когда работоспособность конструкции определяется комплексом необходимых свойств, получение которых труднодостижимо или экономически не выгодно при использовании однородных материалов. Так, при изготовлении испарителей, эжекторов, кристаллизаторов, фурм конвертеров, химической аппаратуры, электровакуумных приборов и во многих других случаях возникает необходимость соединения сталей различных классов с медью и ее сплавами с целью экономии последних. По вопросам сварки сталей с медью и ее сплавами опубликовано довольно большое количество работ [1–7]. Это объясняется, прежде всего, разнообразием и трудностью задач, которые приходится решать в каждом конкретном случае.

На качество сварного соединения меди со сталью существенное влияние оказывает как применяемые сварочные материалы, так и технология сварки. Следовательно, одним из путей повышения качества изготовления конструкций, которые содержат сварное соединение меди со сталью, является совершенствование сварочных технологий для соединения разнородных металлов.

Целью данной работы является выбор оптимальных технологии сварки и сварочных материалов для сварки стали с медью применительно к условиям ПАО «НКМЗ».

При сварке меди с аустенитными сталями 12Х18Н10Т, 10Х17Н12М2Т, 10Х17Н12М3Т возникают трудности из-за образования горячих трещин в металле шва. Биметалл сталь-медный сплав, полученный наплавкой, состоит из нескольких зон, различающихся по свойствам, которые определяются составом и структурой этих зон. Последние зависят от глубины проплавления стали и от физико-химического взаимодействия на межфазной границе, которые, в свою очередь, определяются режимом наплавки [1]. В работе [2] установлено, что при наплавке и сварке меди с аустенитной сталью Х18Н9Т наблюдается проникновение меди в сталь. С увеличением содержания меди в аустенитном металле шва свыше 3 % склонность к образованию горячих трещин резко возрастает [3]. При этом трещины, возникающие при наплавке меди на сталь, являются результатом совместного действия термических напряжений растяжения и эффекта Ребиндера. Подобные явления связывают с расклинивающим действием жидкой меди, а также с особым энергетическим состоянием сплава на границах зерен и повышенной вследствие этого диффузией атомов жидкой фазы в кристаллическую решетку твердого металла.

На проникновение меди в сталь при наплавке, сварке и пайке оказывают влияние следующие факторы: время контактирования расплавленной меди со сталью, с увеличением которого увеличивается глубина проникновения; напряженное состояние металла при наплавке, сварке и пайке (напряжения растяжения увеличивают проникновение); структурное состояние; химический состав стали [4]. Таким образом, на качество сварного соединения будет влиять как способ и режим сварки, так и применяемые сварочные материалы.

Для предотвращения образования диффузионной и кристаллизационной прослоек, появляющиеся на границе сплавления меди со сталью в результате протекания двух взаимно противоположных процесса: растворения твердого металла в жидком и диффузии атомов жидкого металла в твердый, наплавку следует производить такими способами и на таких режимах, при которых кристаллизационные прослойки в зоне сплавления отсутствуют, а диффузионные имеют минимальные размеры. Кроме того для повышения прочности сварного соединения разнородных металлов необходимо ограничивать переход в сварочную ванну

значительного количества железа, т. к. из-за незначительной растворимости железа в меди или в медно-никелевом сплаве в твердом состоянии металла шва при кристаллизации выделяется новая фаза снижающую прочность. Аргондуговой сварки неплавящимся электродом обеспечивает сравнительно малую погонную энергию сварки, а значит небольшую глубину проплавления и маленькое время существования ванны [5]. Более высокое качество сварных соединений при аргондуговой сварке объясняется тем, что в этом случае в металле шва содержание железа не превышает 8–10 %, а при ручной сварке достигает 50–55 % [7]. Поэтому в качестве способа сварки меди со сталью принят способ аргондуговой сварки неплавящимся электродом.

Как уже говорилось ранее, на качество сварного соединения разнородных металлов влияют применяемые сварочные материалы, при выборе которых необходимо руководствоваться как получением качественного соединения, так и экономичностью. Так в работе [7] в качестве присадочного металла применять никелевый сплав МНЖ 5-1 или бронзу БрАМц 9-2. Наличие никеля и алюминия снижает активность воздействия жидкого металла в микронадрывах на стали, что уменьшает опасность образования глубоких трещин в стали [7]. Кроме того, марганец и никель улучшают взаимную растворимость железа и меди, тем самым снижается вероятность образования фаз отсутствующих в исходных, снижающих прочность соединения. Так в работе [8] указывается на снижение временного сопротивления соединения из стали 0Х18Н10Т при высокой температуре в большей мере медь (до 50 %), значительно меньше – сплавы БрАМц 9-2 и МНЖКТ5-1-0,2-0,2 (до 30 %).

Таким образом, литературный обзор показал, что оптимальным сварочным материалом является проволоки марки МНЖКТ5-1-0,2-0,2 [7].

Однако указанные материалы не позволяют достичь требуемых свойств сварного соединения. Так при использовании присадочного материала Ni-Cu-Fe наблюдается образование горячих трещин ввиду снижения предела прочности [9]. Поэтому, с целью исключения непосредственного влияния расплавленной меди на нержавеющую сталь при сварке стыкового (а) и нахлесточного (б) соединений (форма сварных соединений показана на рис. 1) необходимо наплавлять подслой на нержавеющую сталь.

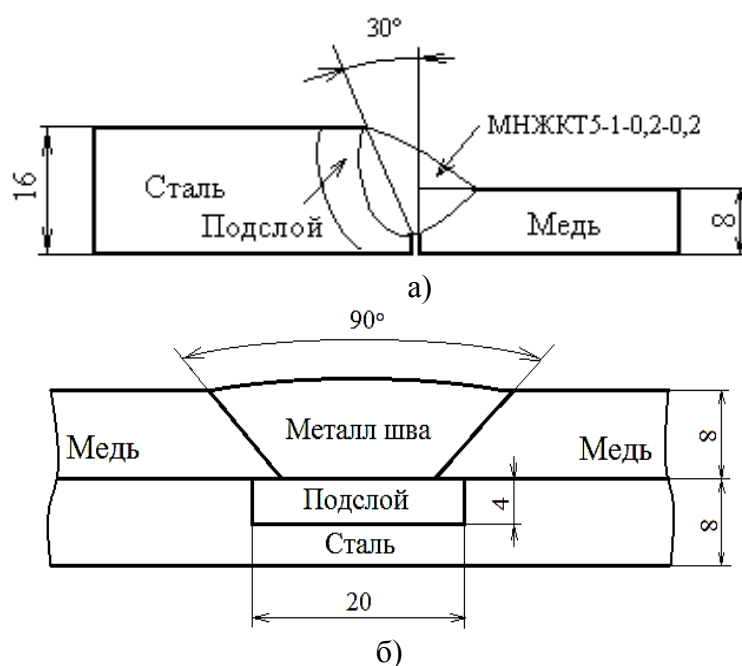


Рис. 1. Конструктивная форма сварного соединения

Такая форма сварного соединения принята исходя из необходимости исключения непосредственного контакта меди со сталью. При этом канавка в стальной пластине (рис. 1, б), выполненная способом фрезерования, имеет глубину равную 4 мм. Это дает возможность выполнить наплавку в два слоя, что, позволит получить во втором слое высокое содержание никеля.

При выборе материала подслоя исходили из условия получения сварного соединения без трещин. Указанные требования может обеспечить присадочный материал на основе никеля или монель-металл.

Для наплавки подслоя применяли присадочные прутки марок Nibas 70/20-IG («Böhler», Австрия) и УТР А 80 М («УТР», Германия).

В табл.1 приведен химический состав как основных, так и сварочных материалов.

В табл.2 указаны режимы ручной аргодуговой сварки.

Таблица 1

Химический состав основных и сварочных материалов, %

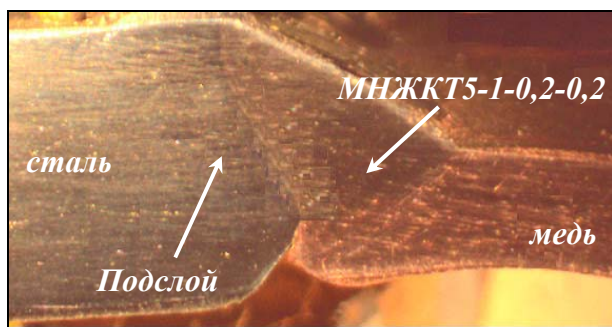
Материал	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Cu	Fe	Другие
12X18H10T	≤ 0,12	≤ 0,80	≤ 2,0	17,0–19,0	9,0–11,0	5×C-0,8	-	осн.	-
M1	-	-	-	-	-	-	99,95	-	≤ 0,1
Nibas 70/20-IG	0,02	0,10	3,1	20,5	осн.	-	-	≤ 1	Nb 2,6
УТР А 80 М	≤ 0,02	0,30	3,2	-	осн.	2,4	29	1	-
МНЖКТ5-1-0,2-0,2	≤ 0,03	0,15–0,30	0,3–0,8	-	-	0,1-0,3	осн.	1,0–1,4	Ni+Co 5,0–6,5

Таблица 2

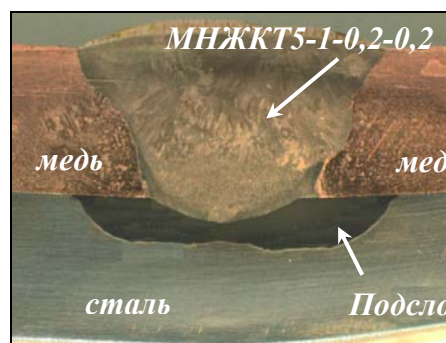
Режимы сварки

Параметр	Значение
Сварочный ток, А	180–240
Защитный газ	100 % Ar
Расход газа, л/мин	16
Количество проходов	2–4
Толщина пластин, мм	8 (16)
Скорость сварки, м/час	30–40
Диаметр прутка, мм	2,0 (2,4)

Исследование микроструктур осуществляли при помощи микроскопа Карл Цейс Неофот 20. На рис. 2 показаны макроструктуры сварных соединений.



а)



б)

Рис. 2. Макроструктура сварных соединений стыкового (а) и нахлесточного (б) соединений

На рис. 3 приведені фотографії мікроструктури зони сплавлення сталі і матеріала підсоля.

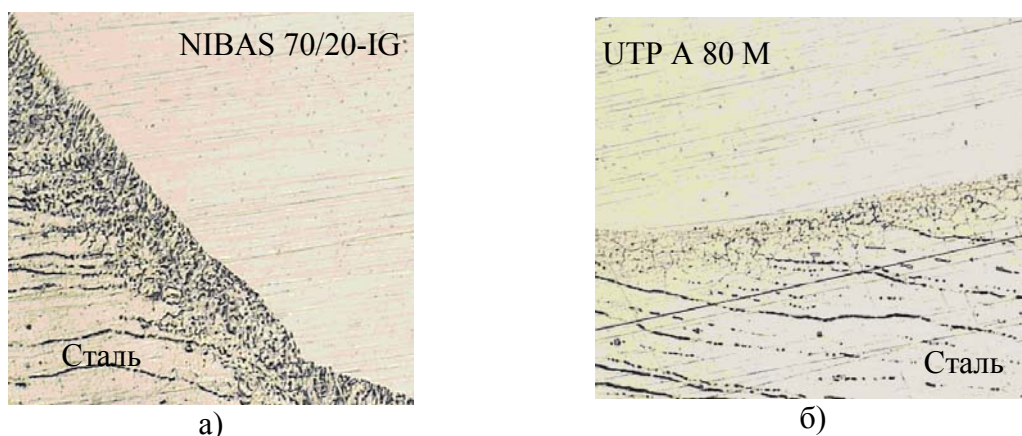


Рис. 3. Мікроструктури лінії сплавлення сталі і підсоля Nibas 70/20-IG (а) УТР А 80 М (б)

Аналіз мікроструктур лінії сплавлення сталь-Nibas 70/20-IG і сталь-УТР А 80 М показав незначительне по глибині (до 0,05 мм) фронтальне проникнення міді по границям зерен сталі 12Х18Н10Т вдоволь лінії сплавлення (рис. 3, а і б). В роботі [4] показано, що фронтальне проникнення міді в сталь на незначительну глибину, що відбувається при наплавці міді МЗ на сталь Х18Н10Т, не оказує впливу на механічні властивості зварного з'єднання. Це дає підставу полагати, що підсолей, наплавлений як присадочним матеріалом УТР А 80 М, так і Nibas 70/20-IG, може застосовуватися для наплавки підсоля при зварці міді со сталлю.

Дальніше дослідження проводили по визначенню оптимального поєднання матеріалу для наплавки підсоля і матеріалу для заповнення розделки (в даному випадку МНЖКТ5-1-0,2-0,2). Мікроструктури перехідної зони, отримані при різному поєднанні даних матеріалів, показані на рис. 4.



Рис. 4 – Мікроструктура лінії сплавлення МНЖКТ5-1-0,2-0,2 і підсоля УТР А 80 М (а) і підсоля Nibas 70/20-IG (б)

Аналіз мікроструктури (рис. 4, а) лінії сплавлення МНЖКТ5-1-0,2-0,2 – УТР А 80 М показав відсутність тріщин.

Аналіз мікроструктури (рис. 4, б) лінії сплавлення МНЖКТ5-1-0,2-0,2 – Nibas 70/20 показав, що со сторони підсоля NIBAS 70/20-IG виявлені тріщини, глибина проникнення яких перевищує значення 0,6 мм.



В работе [7] указано, что глубина проникновения расплавленной меди в сталь при наплавке, сварке и пайке может колебаться от нескольких микрон до нескольких десятков миллиметров. При этом допустимая глубина проникновения, не влияющая на механические свойства, ограничивается 0,3–0,5 мм. Учитывая то обстоятельство, что конструкция работает в условиях циклического нагрева-охлаждения, т. е. при теплосменах, возможен дальнейший рост трещин в глубь основного металла, что, по-видимому, приведет к преждевременному разрушению металлической конструкции.

Отсюда следует, что лучшим вариантом в качестве подслоя, который сваривается со сварочным материалом МНЖКТ5-1-0,2-0,2 является присадочный материал УТР А 80 М.

### ВЫВОДЫ

1. При сварке меди со сталью в условиях единичного производства наиболее целесообразным способом сварки является ручная аргодуговая сварка неплавящимся электродом.
2. В случае применения Nibas 70/20-IG в качестве присадочного материала для наплавки подслоя наблюдаются трещины значительной протяженности.
3. Анализ микроструктур линии сплавления показал, что в качестве материала, наилучше подходящий для наплавки подслоя на сталь 12Х18Н10Т, что предотвращает непосредственное воздействие жидкой меди на сталь, необходимо применять присадочный материал УТР А 80 М.
4. Разработка технологии сварки меди со сталью позволит ПАО «НКМЗ» расширить перечень номенклатуры выпускаемой продукции, что повысит конкурентоспособность ПАО «НКМЗ» на мировом рынке в качестве мирового производителя уникальной техники.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ардентов В. В. Кинетика разрушения при растяжении биметалла медный сплав-сталь Ст3. / В. В. Ардентов, А. Е. Вайнерман, А. А. Осетник – «Автоматическая сварка». – 1977. – № 12 – С. 13–16.
- 2 Аснис Е. А. О механизме образования трещин при сварке и наплавке меди на сталь. «Сварочное производство» / Е. А. Аснис, В. М. Прохоренко, Л. С. Швиндлерман – 1965. – № 11. – С. 8–9.
- 3 Соединение труб из разнородных металлов. – М. : Машиностроение, 1981. – 176 с.
- 4 Грудзинский Б. В. О взаимодействии меди со сталями при наплавке и сварке. «Сварочное производство» / Б. В. Грудзинский, И. А. Шлямнева, Г. А. Степанов – 1970. – № 12. – С. 10–12.
- 5 Вайнерман А. Е. О процессах растворения и диффузии на межфазной границе при взаимодействии разнородных металлов. «Автоматическая сварка» / А. Е. Вайнерман – 1976. – № 12. – С. 15–19.
- 6 Гавриш П. А. Повышение механических свойств сварного соединения меди со сталью. / П. А. Гавриш – «Защита металлургических машин от поломок» : сб. науч. тр. – Вып. 9. – Мариуполь, 2006. – С. 91–94.
- 7 Сварка разнородных металлов. Сварка стали с медью. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://websvarka.ru/weld-82.html>.
- 8 Абрамович В. Р. Оценка влияния расплавленных меди и ее сплавов на механические свойства стали. / В. Р. Абрамович, Б. П. Алентов, В. М. Парфенов – «Автоматическая сварка», 1977. – № 12. – С. 17–18, 29.
- 9 Shiri S G, Nazarzadeh M, Sharifitabar M, Afarani M. S. Gas tungsten arc welding of CP-copper to 304 stainless steel using different filler materials. Trans. Nonferrous Met. Soc. Chine. – 2012, 22 : 2937-2942.