

УДК 621.3

В.В. Косенко, А.С. Кобзев

ГП "Харьковский НИИ технологии машиностроения", Харьков

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СТАЛИ 40X, ПЯНЫХ МЕДЬЮ

Результаты металлографических исследований соединений из стали 40X, паяных медью в соляных ваннах и в вакууме, показали, что фазовый состав и свойства соединений мало зависят от величины сборочного зазора если он находится в пределах 0,0...0,1 мм и по своему характеру близки к равновесному состоянию «железо-медь». Структура стали 40X после пайки – крупнозернистый феррит+перлит, а после нормализации структура измельчается и представляет собой – феррит+перлит. Проведение термической обработки (нормализация, закалка и высокий отпуск) способствует выравниванию структуры стали 40X в мелкоигольчатый сорбитообразный троостит с микротвердостью 3170-3540 МПа. В то же время термическая обработка способствует обезуглероживанию стали 40X, глубина обезуглероженного слоя составляет 60...70 мкм.

Ключевые слова: фазовый состав, микроструктура паяного шва, свойства соединений, глубина обезуглероживаемого слоя, микротвердость, диффузионная зона.

Введение

Металлографические исследования паяных соединений осуществлялись на поперечных шлифах, изготовленных по ГОСТ 21549-76.

Фазовый состав и свойства соединений, паяных в соляных ваннах и в вакууме в исходном состоянии и после термической обработки, приведены в табл. 1, микроструктура на рис. 1 – 6.

На основании анализа табл. 1 и рис. 1 – 6 представляется возможным видеть, что фазовый состав и свойства соединений из стали 40X, паяных медью в

соляных ваннах и в вакууме мало зависят от величины сборочного зазора, если он находится в пределах (0,0 – 0,1) мм и по своему характеру близки к равновесному по диаграмме состоянию «железо-медь» [1].

Объяснение полученных результатов, по-видимому, следует искать в кинетике растворения железа в меди с учетом условий кристаллизации паяных швов.

Известно, что скорость растворения железа в меди лимитируется скоростью отвода частиц железа от межфазной границы в глубину расплава медного

припоя, а разрушение кристаллической структуры, разрыв старых и образование новых металлических связей типа твердых растворов происходит сравнительно быстро [2].

Согласно теории диффузионной кинематики гетерогенных реакций [3], в расплаве меди, вплотную прилегающем к поверхности стали 40X, весьма быстро образуется и поддерживается насыщенный раствор железа. Интенсивность отвода железа из стали 40X от межфазной границы определяется, как правило, свойством медного расплава (вязкостью, коэффициентом диффузии), а также характером ее увеличения, что находит свое выражение в уравнениях диффузии [4].

Основной раздел

Поскольку минимальное время изометрической выдержки при температуре пайки в соляных ваннах и в вакуумных печах принято 5,0÷10,0 мин., то временной зависимости состава жидкой фазы в сборочных зазорах величиной до 0,1 мм наблюдаться не должно, что и подтверждается металлографическими исследованиями. Приведенные свойства стали 40X и паяного шва учитывали взаимодействие меди, железа, марганца и кремния. В действительности можно предполагать, что растворение в медном припое этих компонентов стали 40X должно происходить путем упрочнения паяного соединения. Кроме того, выявлено, что при увеличении времени изотермической выдержки от 5,0 до 10,0 мин. независимо от величины сборочного зазора структура паяных швов остается однофазной: α – твердый раствор.

Отсутствие временной зависимости в составе медных сплавов и их структуре дает основание предполагать, что жидкие фазы в сборочных зазорах при температуре пайки соответствуют равновесному состоянию диаграммы состояния «железо-медь».

Однако, соответствующие сплавы после кристаллизации, как минимум, должны иметь двухфазную структуру, состоящую из твердых растворов кремния и марганца в меди.

Можно только предполагать, что отсутствие в структуре видимых зон сплавления указанных фаз обусловлено их выделением в виде весьма тонкого диффузного слоя на межфазной границе стали 40X и паяного шва. Микроструктура паяных швов (рис. 2 – 6) практически мало зависит от термической обработки, в то же время свойства стали 40X и ее глубинных слоев диффузионной зоны заметно улучшены после проведения нормализации, закалки и высокого отпуска (табл. 1 и рис. 3, 6).

Полученные данные свидетельствуют о кристаллизационном происхождении слоев диффузионной зоны. В соответствии с диаграммой состояния

уменьшение растворимости, например, железа в расплаве меди приводит к выделению фазы, богатой железом. Последняя в условиях охлаждения паяного шва способна кристаллизоваться в виде эпитаксиального слоя на межфазной границе со сталью 40X.

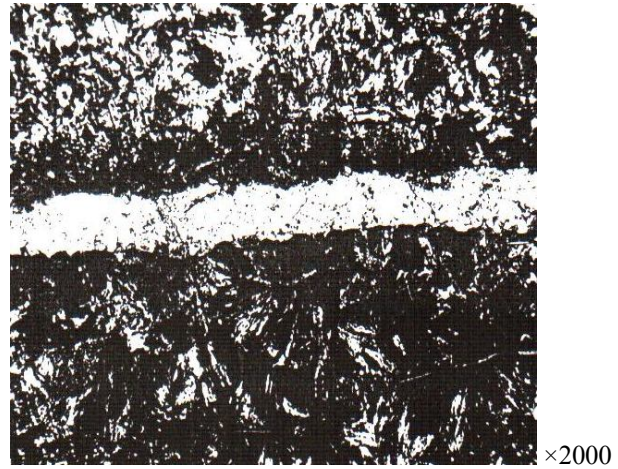


Рис. 1. Микроструктура соединения, паяного в соляной ванне (исходное состояние)

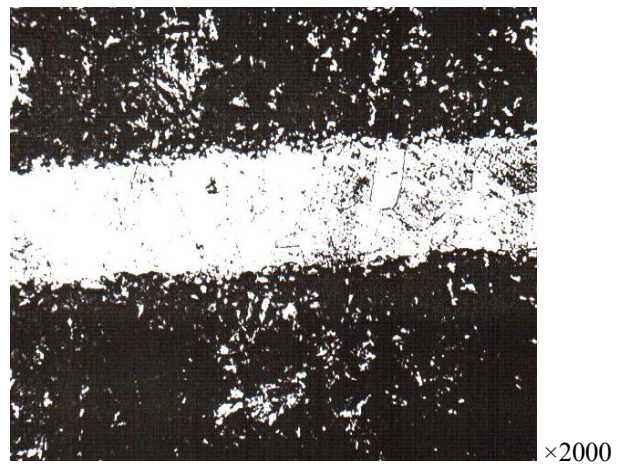


Рис. 2. Микроструктура соединения, паяного и нормализованного в соляной ванне

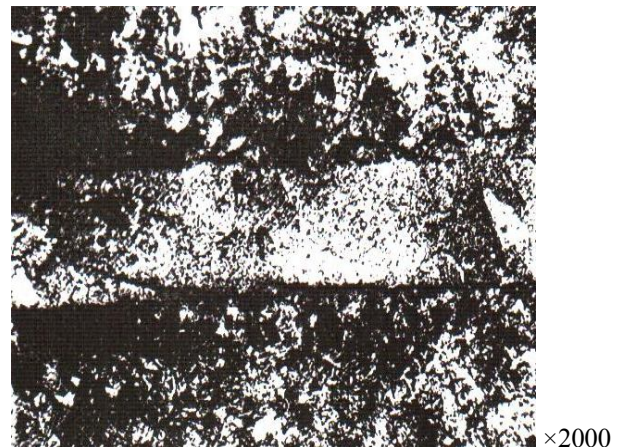


Рис. 3. Микроструктура соединения, паяного в соляной ванне и нормализованного в камерной печи

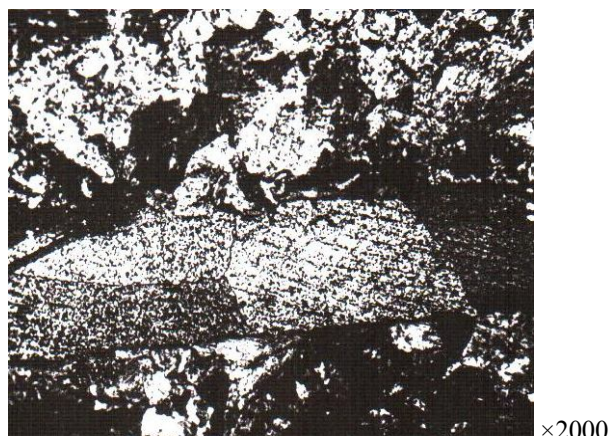


Рис. 4. Микроструктура соединения, паяного в вакууме (исходное состояние)



Рис. 5. Микроструктура соединения, паяного в вакууме и нормализованного в соляной ванне



Рис. 6. Микроструктура соединения, паяного в вакууме и нормализованного в камерной печи

В то же время, если составы медных сплавов образующихся путем легирования меди компонентами стали 40X в сборочных зазорах величиной от 0,03 до 0,1 мм, практически идентичны, то их структура, формирующаяся при прочих равных условиях, оказывается также идентичной (рис. 1, 4).

При уменьшении сборочного зазора от 0,1 мм до нуля кристаллизация происходит последовательно от стали 40X до центра шва путем роста ячеистых кристаллов, а в сборочных зазорах менее 0,025 мм – путем перемещения плоского фронта кристаллизации. Последовательная кристаллизация жидких прослоек расплава меди в сборочном зазоре приводит к значительной химической неоднородности состава паяного шва. Распределение в меди легирующих компонентов в направлении роста кристаллов характерно для нормально направленной кристаллизации, происходящей в условиях, когда скорость кристаллизации велика по сравнению со скоростью диффузии в расплаве.

Характер кристаллизации медного сплава в различных по величине сборочных зазорах, по-видимому, может оказать существенное влияние на механические свойства паяных соединений, что требует проведения микрорентгеноспектрального анализа и механических испытаний.

Выводы

1. Структура стали 40X после пайки в соляных ваннах и в вакууме – крупнозернистый феррит+перлит.

2. После нормализации паяных соединений в соляных ваннах и в камерных печах структура стали 40X измельчается и представляет собой феррит+перлит.

3. Проведение термической обработки: нормализации, закалки и высокого отпуска способствует выравниванию структуры стали 40X – мелкоигльчатый сорбитообразный троостит с микротвердостью 3170 – 3540 МПа.

4. Микроструктура паяного шва представляет собой α – твердый раствор с мелкодисперсными включениями серого цвета, которые, как правило, располагаются по границам зерен стали 40X. Наиболее крупные включения содержатся в швах, паяных в соляных ваннах. Такие включения сохраняются и после термической обработки. Микротвердость включений составляет порядка 4000 – 5000 МПа.

5. Пайка в вакууме сопровождается образованием на межфазной границе стали 40X и меди тонкой диффузионной зоны шириной до 5 мкм. Величина диффузионной зоны в соединениях, паяных в соляной ванне составляет порядка 20 – 25 мкм.

6. Пайка в соляной ванне сопровождается обезуглероживанием стали 40X на глубину 40 мкм. Термообработка в соляных ваннах дополнительно увеличивает глубину обезуглероживания величиной порядка 20 – 30 мкм, а в камерных печах до 70 – 90 мкм.

7. На стали 40X после пайки в вакууме обезуглероженного слоя не выявлено.

Таблиця 1

Фазовый состав и свойства соединений из стали 40X, паяных в соляных ваннах и вакууме

№ п/п	Способ пайки	Величина сборочного зазора, мкм	Глубина обезуглероженного слоя, мкм	Микротвердость, МПа		Характеристика структуры	Примечание
				сталь 40X	паяный шов		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Соляная ванна	0	20	2626-2900	1019-935	Микроструктура паяного шва: крупнозернистый α – твердый раствор с мелкодисперсными включениями серого цвета. Диффузионная зона – тонкая прослойка в виде кружева. Дефекты в паяном шве отсутствуют. Структура стали 40X феррит+перлит.	Пайка в соляной ванне (рис. 1).
2	Соляная ванна	50	20	3107-3214	761-989	Микроструктура для паяного шва: мелкодисперсный α – твердый раствор. Диффузионная зона – тонкая прослойка в виде кружева. Дефекты в паяном шве отсутствуют. Структура стали 40X – мелкодисперсный сорбитообразный троостит.	Пайка и нормализация в соляной ванне по режиму: температура, $^{\circ}\text{C}$ – 870; время, мин. – 20; охлаждение на воздухе. Закалка в соляной ванне по режиму: температура, $^{\circ}\text{C}$ – 840; время, мин. – 5,0; охлаждение в масле. Высокий отпуск по режиму: температура, $^{\circ}\text{C}$ – 470; время, мин. – 90; охлаждение на воздухе (рис. 2).
3	Соляная ванна	0	110	3217-3469	681-906	Микроструктура паяного шва средней зернистости α – твердый раствор с мелкодисперсными включениями серого цвета по границам зерен. Дефекты паяного шва отсутствуют. Структура стали 40X – сорбитообразный троостит.	Пайка в соляной ванне и нормализация в камерной печи по режиму: температура, $^{\circ}\text{C}$ – 870; время, мин. – 27; охлаждение на воздухе. Закалка в камерной печи по режиму: температура, $^{\circ}\text{C}$ – 840; время, мин. – 24; охлаждение в масле. Высокий отпуск по режиму: температура, $^{\circ}\text{C}$ – 470; время, мин. – 90; охлаждение на воздухе (рис. 3).
4	Вакуум $1 \cdot 10^{-2}$ - $1 \cdot 10^{-3}$ Па	0	-	2158-2609	829-873	Микроструктура паяного шва: крупнозернистый α – твердый раствор. Диффузионная зона – тонкая прослойка в виде кружева. Дефекты в паяном шве отсутствуют. Структура стали 40X – феррит+перлит крупнозернистый.	Пайка в вакууме (рис. 4).
5	Вакуум $1 \cdot 10^{-2}$ - $1 \cdot 10^{-3}$ Па	35	70	3106-3214	989-1050	Микроструктура паяного шва: крупнозернистый α – твердый раствор. Диффузионная зона практически отсутствует. Дефекты в паяном шве отсутствуют. Структура стали 40X – мелкоигльчатый сорбитообразный троостит.	Пайка в вакууме, нормализация в соляной ванне по режиму: температура, $^{\circ}\text{C}$ – 870; время, мин. – 40; охлаждение на воздухе. Закалка в соляной ванне по режиму: температура, $^{\circ}\text{C}$ – 840; время, мин. – 5; охлаждение в масле. Высокий отпуск по режиму: температура, $^{\circ}\text{C}$ – 470; время, мин. – 90; охлаждение на воздухе (рис. 5).

1	2	3	4	5	6	7	8
6	Вакуум $1 \cdot 10^{-2}$ - $1 \cdot 10^{-3}$ Па	50	60	3214	829-806	Микроструктура паяного шва: крупнозернистый α – твердый раствор с мелкодисперсными включениями серого цвета. Диффузионная зона весьма тонкая прослойка в виде кружева. Дефекты в паяном шве отсутствуют. Структура стали 40X – мелкодисперсный игольчатый сорбитообразный троостит.	Пайка в вакууме, нормализация в камерной печи по режиму: температура, °С – 870; время, мин. – 30; охлаждение на воздухе. Закалка в камерной печи по режиму: температура, °С – 840; время, мин. – 24; охлаждение в масле. Высокий отпуск по режиму: температура, °С – 470; время, мин. – 90; охлаждение на воздухе (рис. 6).

8. После термической обработки в соляных ваннах и в камерных печах соединений, паяных в вакууме, глубина обезуглероженного слоя составляет:

- в соляных ваннах: 60 – 70 мкм;
- в камерных печах: 60 – 65 мкм.

9. Для установления химического состава включений в паяном шве и выяснения природы их образования необходимо дополнительно выполнить микрорентгеноспектральный анализ паяных соединений.

10. Для установления влияния зависимости величины сборочного зазора на технологическую прочность паяных соединений необходимо выполнить механические испытания.

2. Гжемальский Л.Л. Структура из железа, паяного медью / Л.Л. Гжемальский, А.С. Екатова // Физика и химия обработки материалов. – 1968. – № 1. – С. 23-29.

3. Новосадов В.С. Анализ уравнения гетерогенной диффузии примеси в процессе взаимодействия твердой и жидкой металлических фаз / В.С. Новосадов, А.А. Нурдин, М.Х. Шаронов // Физика и химия материалов. – 1968. – № 1. – С. 42-48.

4. Екатова А.С. Изучение состава зоны сплавления и диффузионных зон в паяных соединениях систем: железо-медь, железо-медь-никель, медь-серебро, алюминий-цинк / А.С. Екатова, Ю.Ф. Сидохин. В кн: Пайка в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1967. – С. 72-82.

Поступила в редколлегию 26.09.2013

Список литературы

1. Хансен М. Структуры двойных сплавов / М. Хансен, К. Андресенко. – М.: 1962.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Х.В. Раковский, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТАЛОГРАФІЇ ДЕТАЛЕЙ ІЗ СТАЛІ 40X, ЩО ПАЯНІ МІДДЮ

В.В. Косенко, О.С. Кобзев

Результати досліджень металографії з'єднань із сталі 40X, що паяні міддю в соляних ваннах і у вакуумі, показали, що фазовий склад і властивості з'єднань мало залежать від величини складального зазору, якщо він знаходиться в межах 0,0,0,1 мм і за своїм характером близькі до рівноважного стану «залізо-мідь». Структура сталі 40X після паяння – грубозерниста феррит+перліт, а після нормалізації структура подрібнюється і є – феррит+перліт. Проведення термічної обробки (нормалізація, гарт і висока відпустка) сприяє вирівнюванню структури сталі 40X в мелкоїгольчастий сорбітообразний троостит з мікротвердістю 3170-3540 Мпа. В той же час термічна обробка сприяє знеуглецюванню сталі 40X, глибина знеуглецюваного шару складає 60.70 мкм.

Ключові слова: фазовий склад, мікроструктура паяного шва, властивості з'єднань, глибина обезуглероживаючого шару, мікротвердість, дифузійна зона.

METALLOGRAPHY RESEARCHES OF DETAILS FROM STEEL OF 40X, SOLDERED COPPER

V.V. Kosenko, A.S. Kobzev

Results of metallography researches of connections from steel of 40X, soldered a copper in соляных baths and in a vacuum, showed that phase composition and properties of connections little depended on the size of assembling gap if he is within the limits of 0,0,0,1 mm and on the character near to the равновесному state «iron-copper». Structure 40X became after soldering – coarse-grained ferrite+pearlite, and after normalization a structure is ground down and is – ferrite+pearlite. Conducting of heat treatment (normalization, tempering and high vacation) is instrumental in smoothing of structure 40X became in fine-needed sorbitic microstructure with microhardness 3170-3540 Mpa. At the same time heat treatment is instrumental 40X became in decarbonating, the depth of decarbonization layer makes 60.70 mkm.

Keywords: phase composition, microstructure of the soldered stitch, properties of connections, depth of decarbonization layer, microhardness, diffusive area.