

УДК 629.12

В.В. Косенко, А.С. Кобзев

ГП "Харьковский НИИ технологии машиностроения", Харьков

**ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
КОМПОНЕНТОВ СТАЛИ 40X В РАСПЛАВЕ МЕДИ  
ПРИ ПАЙКЕ ЭЛЕМЕНТОВ СОСТАВНЫХ КОРПУСОВ ГИДРОЦИЛИНДРОВ**

*В статье приведены результаты исследования соединений деталей из стали 40X, паяных медью в соляных ваннах и в вакууме, а также соединений, паяных в соляных ваннах после термической обработки в соляных ваннах и в камерных печах. В результате проведенной работы установлено, что процесс пайки в соляных ваннах и в электротермических вакуумных печах сопровождается взаимным массопереносом компонентов стали 40X и медного припоя. При этом компоненты стали 40X легируют медный припой, что увеличивает прочность паяного соединения, а термическая обработка на диффузионный массоперенос оказывает незначительное влияние.*

**Ключевые слова:** *паяное соединение, режимы пайки, режимы термической обработки,*

**Введение**

В процессе формирования паяного соединения медь расплавляется и самопроизвольно смачивает

микрорельеф поверхности соединения, а затем заполняет сборочные зазоры. При температуре 1135 С медь является поверхностно-активным расплавом по отношению к стали 40X.

Поверхностное взаимодействие в сборочных зазорах, как правило, сопровождается взаимным растворением меди и стали 40X, что приводит, в первую очередь, к легированию медного расплава такими компонентами как железо, марганец, кремний и возможно хром [1, 2]. В результате легирования меди компонентами стали 40X происходит упрочнение шва паяного соединения.

**Изложение основного материала**

Изучение процессов упрочнения медного припоя компонентами стали 40X в конструктивных элементах сборочных зазоров корпусов гидроцилиндров осуществляли микрорентгеноспектральным анализом. Анализ проводили на микроанализаторе MAP-2. В качестве эталонов использовали железо, марганец, кремний, хром и медь чистоты 99,99 вес. %.

Регистрировали интенсивность линий

$Fe_{K\alpha}$ ,  $\theta = 27^{\circ}04$

$Mn_{K\alpha}$ ,  $\theta = 29^{\circ}36$  – кристалл-анализатор – кварц  $(\overline{1010})$ .

$Cr_{K\alpha}$ ,  $\theta = 32^{\circ}33$

$Si_{K\alpha}$ ,  $\theta = 20^{\circ}59$  – кристалл-анализатор – слюда  $(001)$ .

Ускоряющее напряжение 35,0 кВ. Локальность анализа составляла 3÷5 мкм.

Информацию фиксировали на диаграммную ленту самописца типа КСП-4.

Образцы при исследовании перемещали вручную (при записи "по точкам") и в автоматическом режиме со скоростями 0,25 и 1,25 мкм/сек, что обеспечило масштаб записи на ленте соответственно 10 мм – 5,0 и 25,0 мкм.

Исследовали соединения из стали 40X, паяные медью в соляных ваннах и в вакууме, а также соединения паяные в соляных ваннах после термической обработки в соляных ваннах и в камерных печах. Анализ проводили на шлифах размером 14x5x5 мм.

Режимы пайки в соляных ваннах и в электротермических вакуумных печах приведены в табл. 1,

а режимы термической обработки в соляных и электротермических камерных печах приведены в табл. 2.

Исследование стали 40X после воздействия термического цикла соляных ванн и электротермических вакуумных печей показали, что железо и хром содержатся в ней на уровне требований ГОСТ. Кроме того, в стали 40X выявлены технологические примеси: марганец и кремний.

При этом в металле паяного шва выявили наличие железа, марганца и кремния. Хром в металле паяного шва выявить не удалось.

Результаты работы показаны на рис. 1 и приведены в табл. 3÷6.

Сопоставительный анализ результатов показал, что содержание железа в паяном шве находится в пределах 4,0, а меди – 96,0 вес. % и, по-видимому, не зависит от величины сборочного зазора и продолжительности нагрева под пайку (табл. 3). Содержание железа и меди в паяном шве после пайки и термической обработки различное, однако перераспределение незначительное (табл. 4).

На рис. 1 представлены концентрационные кривые распределения железа и меди в соединениях, паяных и электротермических вакуумных печах. Как видно из рис. 1, проникновение меди в сталь 40X диффузионным путем осуществляется на глубину порядка 20,0 – 22,0 мкм.

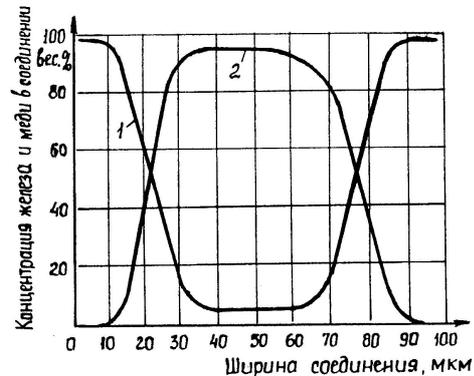


Рис. 1. Концентрационные кривые микрораспределения железа и меди в соединениях, паяных в электротермических вакуумных печах: 1 – распределение железа в паяном соединении; 2 – распределение меди в паяном соединении

Таблица 1

Режимы пайки корпусов гидроцилиндров в соляных ваннах и электротермических вакуумных печах

№ образца	Защитная среда	Температура пайки, °С	Время нагрева под пайку, мин.	Время изотермической выдержки, мин.	Время охлаждения до температуры 200 °С, мин.	Примечание
1	Вакуум $1 \times 10^{-2} - 1 \times 10^{-3}$ Па	1120	90	10	360	Вакуумная печь
2	Соли: NaCl, BaCl <sub>2</sub>	1135	10	10	30	Соляная ванна

Таблица 2

Режимы термической обработки корпусов гидроцилиндров  
в соляных ваннах и в электротермических камерных печах

№ образцов	Вид термической обработки								
	Нормализация			Закалка			Высокий отпуск		
	Защитная среда	Температура нагрева, °С	Время изотермической выдержки, мин.	Защитная среда	Температура нагрева, °С	Время изотермической выдержки, мин.	Защитная среда	Температура нагрева, °С	Время изотермической выдержки, мин.
3	NaCl	870	10	–	–	–	–	–	–
4	NaCl	870	50	–	–	–	–	–	–
5	NaCl	870	50	NaCl	840	5	воздух	470	90
6	воздух	870	10	воздух	840	15	воздух	470	90

Таблица 3

Микрораспределение железа и меди в соединениях,  
паяных в вакууме и в соляных ваннах

№ образца	Сборочный зазор, мкм	Среднее содержание железа, вес. %	Среднее содержание меди, вес. %	Примечание
1	56,0 54,0 45,0	3,96	96,0	Электротермическая вакуумная печь
2	42,0 51,0 56,0	3,96	96,0	Соляная ванна

Таблица 4

Микрораспределение железа и меди в соединениях,  
паяных в соляных ваннах, после термической обработки в соляных ваннах и в камерных печах

№ образца	Исследуемый элемент	Содержание элемента в паяном шве, вес. %	Содержание элемента во включениях по границам зерен, вес. %	Примечание
3	Железо Медь	5,0 94,0	8,0 92,0	Соляная ванна
6	Железо Медь	4,7 95,3	3,5 91,5	Камерная печь
5	Железо Медь	4,0 96,0	6,5 93,0	Соляная ванна
4	Железо Медь	4,0 95,7	7,0 93,0	Соляная ванна

Таблица 5

Микрораспределение марганца в стали 40X и в паяных соединениях  
после пайки в соляных ваннах и термической обработки в соляных ваннах и камерных печах

№ образцов	Содержание марганца, вес. %			Примечание
	В стали 40X	В технологических примесях	В паяном шве	
3	0,77	8,35	5,5	Соляная ванна
4	0,89	17,0	2,9	Соляная ванна
5	0,85	16,5	6,5	Соляная ванна
6	0,90	13,5	5,0	Камерная печь

Таблица 6

Микрораспределение кремния в стали 40X и в паяных соединениях  
после пайки в соляных ваннах и термической обработки в соляных ваннах и камерных печах

№ образцов	Содержание кремния, вес. %			Примечание
	Включения в стали 40X	Включения в сечениях трещины	Включения в паяном шве	
3	–	–	14,0	Соляная ванна
4	–	31,0	19,0	Соляная ванна
5	7,0	–	26,0	Соляная ванна
6	37,0	–	10,7	Камерная печь

Примерно на такую же глубину проникает медь в сталь 40X и в соединениях, паяных в соляной ванне. В этой связи можно предполагать, что легирование меди железом в сборочном зазоре и диффузионный массоперенос меди в структурные составляющие стали 40X сопровождается упрочнением паяного соединения.

Результаты исследования образцов по микрораспределению в соединениях марганца представлены в табл. 5. Анализ этих результатов показал, что сталь 40X содержит до 0,9 вес. % марганца. Однако марганец как сопутствующий технологический компонент стали 40X располагается в ней, как правило, в многочисленных включениях размером порядка 10x100 мкм, каждая из которых содержит от 8,0 до 17,0 % марганца. Металл паяного шва, по-видимому, марганца не содержит, однако на всех образцах, паяных в соляных ваннах и в электротермических вакуумных печах, имеются локальные участки, которые содержат марганец порядка 3,0 – 6,5 вес. %. Эти участки в виде мелких серых точек располагаются как на межфазной границе стали 40X и шва, так и по границам зерен.

В табл. 6 представлены результаты исследования микрораспределения в паяных соединениях кремния. Как показал анализ результатов исследования, кремний в стали 40X и паяных соединениях располагается локально в виде включений типа силикатов: в стали 40X его содержание находится в пределах 7,0 – 37,0, а в паяных швах порядка 10,0 – 26,0 вес.%. Как в стали 40X, так и в швах силикаты располагаются в виде серых включений преимущественно по границам зерен.

Можно предполагать, что диффузионный массоперенос марганца и кремния из стали 40X в паяный шов может сопровождаться потерей прочности и пластичности паяного соединения. Так например, нормализация в соляной ванне в течение 50 мин. (табл. 2) послужила причиной образования в паяном шве трещины.

На участках близко прилегающих к трещине и на её поверхности обнаружено значительное количество кремния, которое достигает 31,0 вес. % (табл. 6).

## Выводы

Таким образом, в результате проведенной работы по исследованию микрораспределений компонентов стали 40X в паяном медным припоем соединения установлено, что процесс пайки в соляных ваннах и в электротермических вакуумных печах сопровождается их взаимным массопереносом. При этом компоненты стали 40X легируют медный припой. Установлено, что железо с медью образует соединения типа твердых растворов, которые могут увеличить прочность паяного соединения. Показано, что марганец и кремний располагается по границам зерен стали 40X и металла паяного шва в виде локальных серого цвета включений, которые могут отрицательно влиять на механические свойства паяных соединений. При этом термическая обработка на диффузионный массоперенос оказывает незначительное влияние.

## Список литературы

1. Исследование деформированного состояния транспортного двигателя при механическом нагружении методом спекл-интерферометрии / А.А. Капустин и др. // В кн.: Оптико-геометрические методы исследования деформаций и напряжений. Тезисы докладов Всесоюзного семинара. – Днепропетровск, 1978. – С. 160-161.
2. Косенко В.В. Экономическая эффективность применения гидравлических цилиндров с составными корпусами для механизации станочных приспособлений / В.В. Косенко, А.С. Кобзев, В.Н. Белик // Системы обработки информации: сб. науч. пр. – Х.: ХУПС, 2010. – Вып. 5 (86). – С. 72-74.

Поступила в редколлегию 23.05.2012

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

## ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОРОЗПОДІЛУ КОМПОНЕНТІВ СТАЛІ 40X В РОЗПЛАВІ МІДІ ПРИ ПАЯННІ ЕЛЕМЕНТІВ СКЛАДЕНИХ КОРПУСІВ ГІДРОЦИЛІНДРІВ

В.В. Косенко А.С. Кобзев

*У статті приведені результати дослідження з'єднань деталей із сталі 40x, паяних міддю в соляних ваннах і у вакуумі, а також з'єднань, паяних в соляних ваннах після термічної обробки в соляних ваннах і в камерних печах. В результаті проведеної роботи встановлено, що процес паяння в соляних ваннах і в електротермічних вакуумних печах супроводиться взаємним масо перенесення компонентів сталі 40x і мідного припою. При цьому компоненти сталі 40x легують мідний припій, що збільшує міцність паяного з'єднання, а термічна обробка на дифузійний масоперенесення робить незначний вплив.*

**Ключові слова:** паяне з'єднання, режими паяння, режими термічної обробки.

## RESEARCH OF 40X COMPONENTS MICRODISTRIBUTION BECAME IN FUSION OF COPPER AT SOLDERING OF HYDROCYLINDER CORPS ELEMENTS

V.V. Kosenko, A.S. Kobzev

*In the article the results of research of connections of details are resulted from steel of 40kh, soldered a copper in hydrochloric baths and in a vacuum, and also connections, soldered in hydrochloric baths after heat treatment in hydrochloric baths and in chamber stoves. It is set as a result of the conducted work, that process of soldering in hydrochloric baths and in electro-thermal vacuum stoves accompanied mutual mass is a transfer of components 40kh and copper solder became. Thus components became 40kh alloy a copper solder, that increases durability of the soldered connection, and heat treatment on diffusive mass is a transfer renders insignificant influence.*

**Keywords:** the soldered connection, modes of soldering, modes of heat treatment.