

## ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРОВОЙ ФАЗЫ ЦИНКА ПО ОБЪЕМУ КОНТЕЙНЕРА

*Федоров А.Л., Сафонов М.В.*

*Тольяттинский государственный университет, г.Тольятти*

**Ключевые слова:** печная пайка, контейнер, латунь, распределение паров цинка.

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы печной контейнерной пайки латунию при введении в объем контейнера дополнительного количества цинка. Проведенные эксперименты показали на неравномерное распределение паров цинка по высоте контейнера, что следует учитывать при пайке.

В силу особенностей физики процесса пайка нашла широкое применение в машиностроении. Наиболее полно преимущества пайки, как групповой технологии, реализуются при нагреве в печах. Однако данный способ характеризуется сравнительно низкой скоростью нагрева, что накладывает ограничения на номенклатуру применяемых припоев. В частности, при пайке стальных изделий широко применяют латунь – сплав меди с цинком. Данный припой сравнительно дешев, при этом обеспечивается высокая прочность паяных соединений и температура нагрева не превышает 1000°C.

Однако при нагреве в печах цинк, упругость паров которого высока, начинает испаряться. Помещая паяемые изделия в контейнеры, герметизируемые засыпкой, и вводя внутрь контейнера дополнительное количество цинка можно не только предотвратить его испарение из припоя, но и проводить пайку без использования флюса, причем, в печах с окислительной атмосферой [1]. Цинк при нагреве связывает остаточный кислород в объеме контейнера, обеспечивая условия для активации паяемой поверхности.

Однако практическое использование данной технологии на производстве показало на нестабильность, в определенных случаях, качества получаемых паяных соединений [2]. Одно из объяснений данного явления - в случае расположения герметизируемого засыпкой затвора в верхней части контейнера пары цинка, имеющие большую плотность, чем газ в контейнере, будут концентрироваться в нижней части контейнера, постепенно вытесняя газ. Справедливость данного предположения проверяли, проводя серию экспериментов.

Для оценки распределения концентрации паров цинка в объеме контейнера в различных зонах последнего располагали медные навески, помещали цинк, герметизировали и производили нагрев. Взвешивая насыщаемые образцы до и после опыта определяли процентное содержание в них цинка, и по процентному содержанию косвенно судили о концентрации цинка в парогазовой смеси. Содержание цинка в расплаве латуни зависит от давления паров цинка над латунию. Между поверхностным слоем латуни и цинком в паровой фазе устанавливается подвижное равновесие:

$$P_{\text{п}}=P_{\text{л}}, \quad (1)$$

где  $P_p$  - фактическое давление паров цинка над латунию;  $P_l$  - давление насыщенных паров цинка над латунию данного состава при данной температуре, связано с его активностью в расплаве:

$$P_l = a_l \cdot P_{Zn}, \quad (2)$$

где  $a_l$  - активность цинка в латуни данного состава при данной температуре;  $P_{Zn}$  - давление насыщенных паров цинка при данной температуре.

Для проведения экспериментов использовали вертикальный контейнер (1) (рис. 1). Нагрев контейнера производили в печи СНОЛ. С помощью массивной диафрагмы (2) в контейнере создавалась зона с постоянной температурой высотой 300 мм. Для имитации затвора, герметизируемого засыпкой, в контейнер на диафрагму засыпали смесь песка и карбюризатора (3), в соотношении 50%об/50%об [3]. Величину температуры контролировали термopарами. По высоте контейнера располагали насыщаемые медные образцы (4) и испаряемый цинк (5). Образцы взвешивали на аналитических весах с точностью до 0,001 гр. до и после насыщения. Вес образцов до насыщения составлял в пределах 1...2 гр. Вес цинка находился в пределах 4,5...5 гр. В контейнере создавали вакуум глубиной 10 Па, затем контейнер заполняли аргоном или азотом до давления 101 кПа. В процессе нагрева величину давления поддерживали постоянной.

Подготовленный контейнер загружался в предварительно разогретую печь, благодаря чему нагрев до температур на образцах 900-950°C происходил за 4-5 минут. После выдержки при постоянной температуре на образце контейнер извлекали из печи, охлаждали, извлекали и взвешивали образцы и остаток цинка. Среднее содержание цинка в образце в весовых процентах определяли по формуле:

$$\%Zn = (m_k - m_n) \cdot 100/m_k, \quad (3)$$

где  $m_n$  - начальная масса образца,  $m_k$  - конечная масса образца.

При выдержке в контейнере в течение 20 минут среднее содержание цинка в образце составляло: в нижней части контейнера - 30%, в средней части - 25 %, и в верхней части - 18%. Температура выдержки составляла 920°C (рис. 2). Увеличение температуры выдержки до 950°C привело к увеличению процентного содержания цинка (рис. 3). Образец в нижней части контейнера содержал 35% цинка, в средней - 28% и в верхней - 24%. В данной серии экспериментов испаритель с цинком располагали на дне контейнера. В случае, когда испаритель располагали в верхней части контейнера, существенных изменений в содержании цинка в образцах не наблюдалось как при температуре выдержки 920°C, так и 950°C.

Следует отметить, что температуры 920°C недостаточно для полного расплавления образцов, среднее содержание цинка в которых менее 34 вес.%.

При выдержке в течение 40 минут содержание цинка в образцах выравнивалось. Так при температуре 920°C содержание цинка в образцах в нижней части контейнера составляло 42%, в средней 40% и в верхней 35%, при температуре 950°C содержание цинка в образцах в нижней части контейнера составляло 47 %, в средней части контейнера 45% и в верхней части контейнера 43%.

Изменение местоположения испарителя существенного влияния на распределение давления не оказывало.

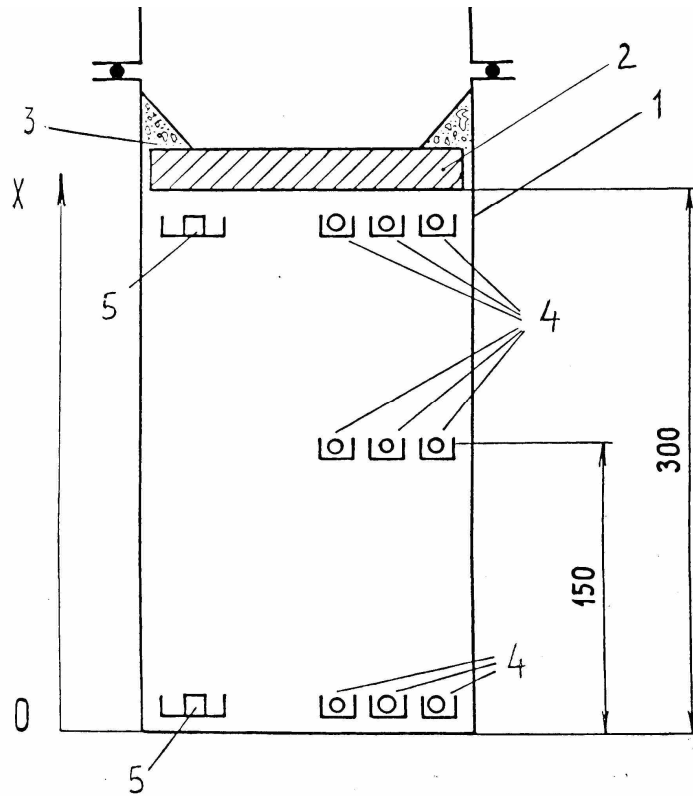


Рис. 1. Схема эксперимента

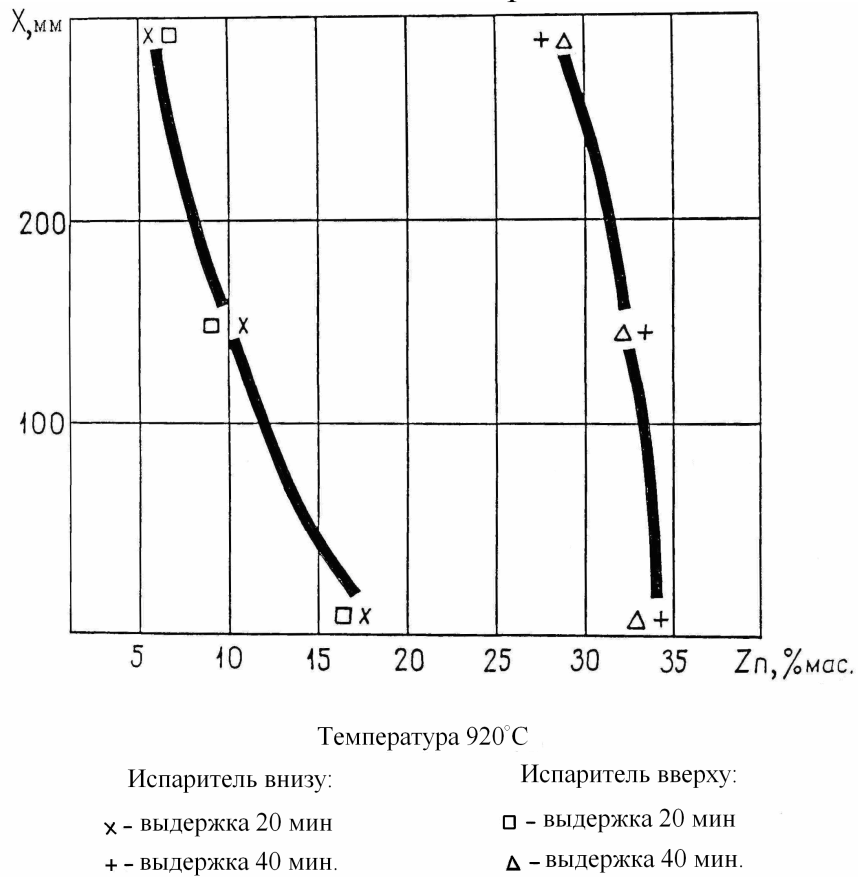


Рис. 2. Экспериментальные данные

Количество цинка, необходимое для полного заполнения его парами выделенного диафрагмой объема контейнера, равного трем литрам, при давлении 760 мм.рт.ст. (что ниже давления насыщенных паров цинка даже при 920°C), определялось по формуле Клапейрона-Менделеева и составляло 2,3 гр.

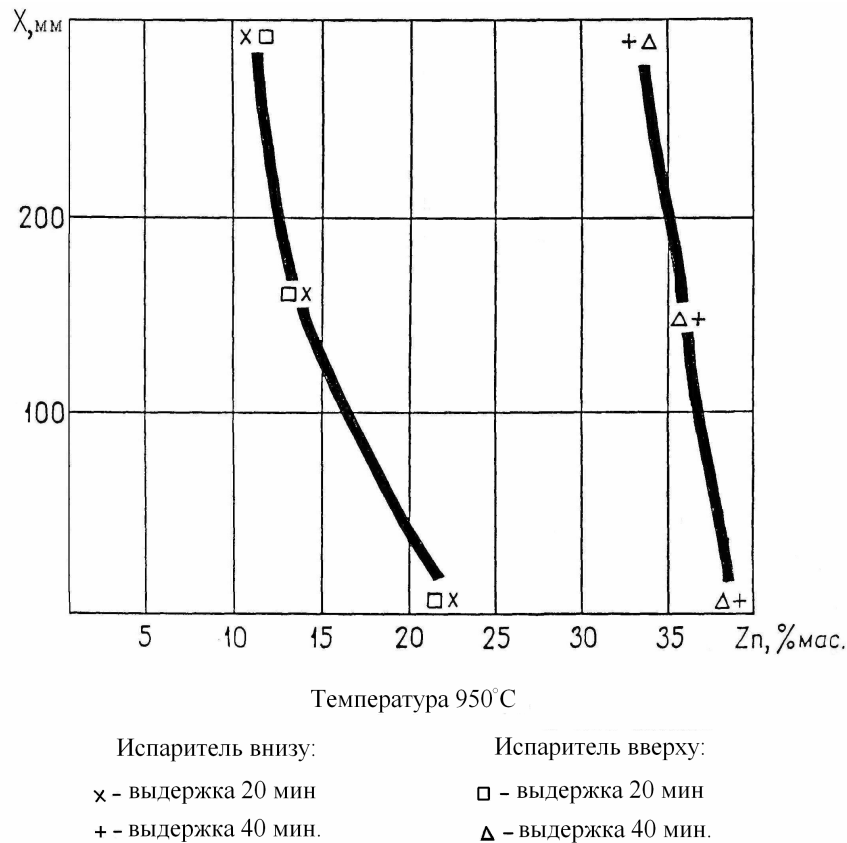


Рис. 3. Экспериментальные данные

За 20 минут испарялся цинк в количестве примерно 3 грамма. Таким образом, испарившегося цинка достаточно для того, чтобы полностью вытеснить весь воздух из объема контейнера. Однако неравномерное насыщение образцов, расположенных в различных по высоте зонах контейнера, указывает на градиент концентрации паров цинка. За 40 минут испарялся полностью весь цинк и процентное содержание цинка в образцах, расположенных в различных по высоте зонах контейнера, выравнивалось.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что испаряющийся цинк постепенно заполняет контейнер, вытесняя аргон из нижней его зоны (в связи с большей плотностью паров цинка).

#### Список литературы

1. Перевезенцев Б.Н., Краснопевцев А.Ю., Федоров А.Л. Процессы образования и взаимодействия парогазовых сред при контейнерной пайке // Сварочное производство. - 1992. - №4. - С. 36-37.
2. Краснопевцев А.Ю., Федоров А.Л. Свойства и особенности соединений при парофазной пайке многокомпонентными припоями системы Cu-Zn // Сварочное производство. - 1995. - №12. - С. 30-32.
3. Перевезенцев Б.Н., Краснопевцев А.Ю., Федоров А.Л. Печная контейнерная пайка в парогазовых средах // Наука - производству. - 2001. - №9. - С. 19.

#### Сведения об авторах:

*Федоров Андрей Львович* – к.т.н., доцент, доцент кафедры «Сварка, обработка металлов давлением и родственные процессы», ТГУ, г.Тольятти;

*Сафонов Михаил Викторович* – старший преподаватель кафедры «Сварка, обработка металлов давлением и родственные процессы», ТГУ, г.Тольятти.

## FEATURES OF THE DISTRIBUTION OF THE VAPOR PHASE OF ZINC BY THE VOLUME OF THE CONTAINER

*Fedorov A.L., Safonov M.V.*

**Keyword:** furnace brazing, container, brass, zinc vapor distribution.

**Abstract.** The questions of furnace container brazing with brass when introducing an additional amount of zinc into the volume of the container are considered. The experiments showed an uneven distribution of zinc vapor in the height of the container, which should be taken into account when soldering.

### References

1. Perevezentsev B. N., Krasnopevtsev A. Yu., Fedorov A. L. processes of formation and interaction of vapor-gas media in container soldering // Welding production - 1992. - №4. - P. 36-37.
2. Krasnopevtsev A. Yu., Fedorov A. L. properties and features of compounds in vapor-phase soldering with multicomponent solders of Cu-Zn // Welding production - 1995. - №12. - Pp. 30-32.
3. Perevezentsev B. N., Krasnopevtsev A. Yu., Fedorov A. L. Furnace container soldering in steam and gas media // Science-production. - 2001. - №9. - P. 19.

УДК 519.6

<https://doi.org/10.26160/2618-6810-2019-2-162-166>

## СИНТЕЗ СИСТЕМЫ МОДАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ БЛОКОМ ДОЗИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

*Федосенков Д.Б.<sup>1</sup>, Симилова А.А.<sup>2</sup>, Федосенков Б.А.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Сибирская генерирующая компания, г. Москва;*

<sup>2</sup>*Кемеровский государственный университет, г. Кемерово*

<sup>3</sup>*Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово*

**Ключевые слова:** блок дозирующих устройств, модальное управление, обратная связь по состоянию, матрица модального регулятора, формула Аккермана

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы синтеза системы модального управления блоком дозирования, состоящим из дозаторов непрерывного и дискретного действия. Для создания стабильного номинального материалопотока на предсмесительной стадии разработана следящая система управления с модальным регулятором в цепи обратной связи по состоянию объекта управления (блока дозирующих устройств - БДУ). Процессы дозирования описаны в терминах материалопотоковых сигналов расхода. В дальнейшем внешняя модель процессов БДУ преобразуется во внутреннюю векторно-матричную модель в пространстве состояний объекта. Описана технология компенсации параметрической нестационарности в БДУ при спорадическом изменении внешних воздействий со стороны загрузочных бункеров - за счет текущего динамического перерасчета параметров модального регулятора (матрицы обратной связи). Представлена методика вычисления параметров регулятора с помощью формулы Аккермана, что позволяет - в рамках автоматизированной системы - поддерживать стабильную структуру материалопотока на предсмесительной стадии и, как следствие, обеспечивать требуемое качество итоговых смесей.

**Введение.** Дозирующие устройства широко используются для изготовления композитных материалов и комплектующих изделий, применяемых в машиностроении и изготавливаемых средствами 3D-печати. 3D-принтинг,