

## Регенерация насыщающей смеси и особенности влияния масштабного фактора при термодиффузионной обработке изделий из меди в промышленных объемах

Плетенев И.В.

Белорусский национальный технический университет

Известно, что при процессах насыщения изделий из порошковых насыщающих сред происходит обеднение смеси активными элементами [1, 2]. Как правило, бывшая в употреблении смесь уже не может обеспечить надлежащего качества и толщины диффузионного слоя. С другой стороны, экономическая эффективность процессов термодиффузионного упрочнения из порошковых сред напрямую определяется конкретными компонентами, их стоимостью и нормами расхода. Таким образом, работоспособность смеси и истощаемость ее по активным элементам влияет, в конечном счете, на себестоимость продукции.

В связи с этим возникает важный вопрос по кратности смеси и ее возможной регенерации. В ходе работы ставилась задача изучить возможности регенерации порошковой смеси оригинального состава [3] для обработки медных изделий, а также определить наиболее экономически обоснованные технологические переходы, устанавливающие минимальные расходы материала, за счет регенерации и повторного использования смеси с сохранением требуемого качества изделий.

При многократном использовании смеси без регенерации наблюдается резкое падение толщины слоя за счет уменьшения доли активной части в насыщающей смеси. Для установления требуемого объема «освежения» смеси были произведены опыты с различной долей регенерирующей составляющей на каждом этапе обработки при следующих режимах,  $t_n = 520 \pm 10$  °С,  $\tau = 4$  ч. (рисунок 1). В качестве регенерирующей части использовалась новая, свежеприготовленная смесь того же состава.

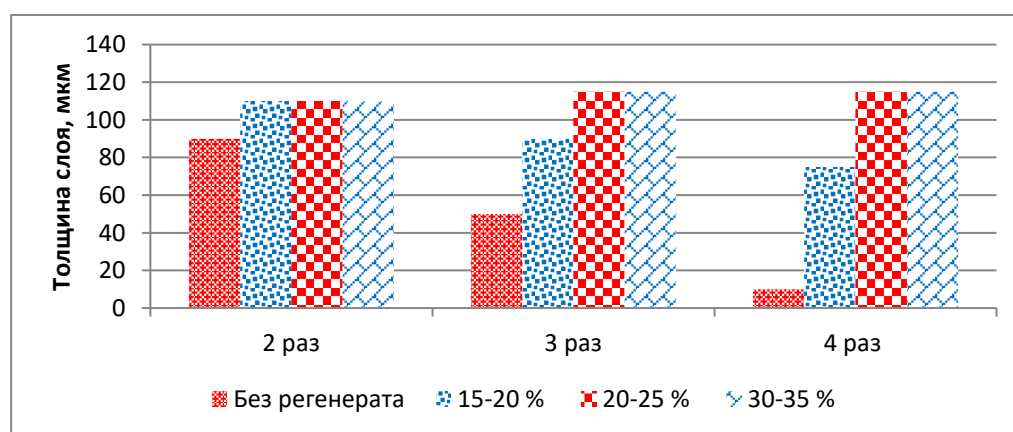


Рисунок 1 – Зависимость толщины диффузионного слоя от кратности использования насыщающей смеси

При введении в смесь 15-20 % масс. наблюдается стабилизация толщины диффузионного слоя в пределах  $110 \pm 5$  мкм, но только для 2-х кратного насыщения. Для обеспечения устойчивого качества, повторяемости процесса и, обращая внимание на влияние масштабного фактора, выраженного, в частности, неоднородностью и сепарацией смеси при больших объемах обработки, целесообразно повысить долю регенерата на 5...10 % масс. от первого стабильного результата (20-25 %), что в результате составит порядка 30...35 % масс. Такой вариант гарантирует стабильно высокое качество при незначительных несоответствиях технологическому процессу (колебания температуры, времени, состава смеси). Дальнейшее повышение доли регенерата нецелесообразно в виду удорожания процесса.

Что касается активатора, то при выполнении больших объемов упрочения, соответствующих промышленным масштабам, целесообразно проводить коррекцию содержания активатора относительно объема контейнера, использующегося для обработки. Для процессов термомодиффузионного упрочения в зависимости от вида и температурно-временных процессов обработки используются разные активаторы.

Известно, что при использовании в качестве активатора хлористого аммония кроме контактного взаимодействия в контейнере протекают реакции диссоциации хлористого аммония и образования галогенидов и субгалогенидов алюминия, которые в процессе самовосстановливаются на поверхности изделия формируя активные атомы и в дальнейшем диффузионный слой.

В общем виде обменный процесс выглядит следующим образом:



Из общих соображений масса активатора должна выбираться таким образом, чтобы при нагреве продукты его распада полностью заполняли контейнер, в противном случае излишки активатора способствуют ухудшению качества поверхности. Например, показатели шероховатости снижаются при исходных значениях порядка Ra 0,8 до значений Ra 12,5 и выше.

Таким образом, необходимо определение того количества активатора, который как минимум обеспечит полное вытеснение воздуха из контейнера и исключит возможность окисления поверхности деталей и насыщающей смеси. Литературные данные указывают на то, что для полного заполнения контейнера продуктами распада хлористого аммония необходимо от 0,5 до 1,0 % масс.  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Опыт промышленного применения насыщающей смеси с таким количеством активатора показывает несостоятельность таких значений при использовании контейнера более  $0,01 \text{ м}^3$ . Влияние доли активатора на качество поверхности при объеме контейнера  $V_{\text{конт}} = 0,05 \text{ м}^3$ , т.е. промышленного назначения, представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты анализа качества поверхности при использовании смеси с различной долей активатора

Доля активатора, % масс.	Оценка качества поверхности и смеси
1,5	Повышенная шероховатость, участки с оплавлением, спекаемость смеси, ускоренная выработка смеси, повреждение резьбовых элементов.
1,0	Повышенная шероховатость, спекаемость смеси, ускоренная выработка смеси, повреждение резьбовых элементов.
0,5	Повышенная шероховатость, спекаемость смеси.
0,25	Повышенная шероховатость, наблюдается частичное спекание смеси, смесь пригодна для регенерации, затруднено очищение межламельного пространства
0,15	Повышенная шероховатость, отсутствует оплавление, наблюдается частичное спекание смеси, смесь пригодна для регенерации, изделия легко очищаются.
0,08	Отсутствуют изменения шероховатости, смесь сыпучая, на изделии неравномерность покрытия вплоть до отсутствия слоя на участках изделия.

По результатам исследований проведена корректировка доли активатора для контейнера с объемом  $0,05 \text{ м}^3$ . Целесообразным было признано применение активатора с долей 0,15 % масс. Аналогичным способом выполнена корректировка для контейнеров с объемом  $0,01$  и  $0,03 \text{ м}^3$ . В результате в исследуемом интервале объема контейнера  $0,01$  до  $0,05 \text{ м}^3$ , при плотной упаковке, с расстоянием между обрабатываемыми изделиями не менее 5 мм, предполагая, что площадь насыщаемой поверхности будет изменяться прямо пропорционально объему контейнера, установлена зависимость количества активатора ( $Q_{\text{акт}}$ ) от объема контейнера ( $V_{\text{конт}}$ ):

$$Q_{\text{акт}} = 0,26 - 2,25 V_{\text{конт}} \quad (2)$$

**Выводы.** Масштабный фактор оказывает существенные влияние на объемные доли активатора и процент регенерирующей добавки для «освежения» смеси. Количество регенерирующей добавки определяется, прежде всего, составом смеси и температурно-временными режимами обработки. В каждом конкретном случае, такой процент лучше устанавливать путем экспериментальных работ, поскольку рекомендуемые в литературных источниках значения такой добавки лишь приблизительно оценивают истощаемость смеси. Если удастся снизить процент регенерата на 5...10 % масс., то это может уже дать существенный экономический эффект. Установлено, что доля активатора снижается при увеличении объема смеси, в частности, для исследуемого состава смеси и контейнера прямоугольной формы объемом от 0,01 до 0,05 м<sup>3</sup> доля активатора составляет от 0,24 до 0,15 % масс. соответственно.

### Литература

1. Минкевич, А.Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов / А.Н. Минкевич. – М.: Машиностроение, 1965. – 491 с.
2. Бурнышев, И. Н. Многокомпонентное диффузионное насыщение медных сплавов / И. Н. Бурнышев, О. М. Валиахметова, В. Ф. Лыс // Химическая физика и мезоскопия. – 2010. – Т. 12. – № 4. – С. 519-525.
3. В.М. Константинов Исследование особенностей структуры и свойств термодиффузионных жаростойких покрытий на меди / В.М. Константинов, В.Г. Дашкевич, И.В. Плетенев // Литье и металлургия. №1, 2021. – С. 124 – 129.