

**ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОДИФфуЗИОННОГО НАСЫЩЕНИЯ
СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ ТИТАНОМ И БОРОМ
В УСЛОВИЯХ ЦИКЛИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОГО НАГРЕВА**

КОНСТАНТИНОВ В. М.¹, СЕМЕНЧЕНКО М. В.²

**¹(Белорусский национальный технический университет;
г. Минск, Республика Беларусь)**

**²(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой;
г. Новополоцк, Республика Беларусь)**

Характеристики наплавляемого или напыляемого защитного покрытия во многом зависят от химического состава используемой проволоки. Не каждое предприятие располагает достаточными средствами для покупки широкой гаммы присадочных материалов. Зачастую это и нецелесообразно. При восстановлении или упрочнении небольших по размеру деталей требуется минимальный объем присадочного материала.

Избежать необоснованных трат можно путем термодиффузионного насыщения стальной проволоки подходящими химическими элементами в условиях конкретного предприятия. Накопленный к настоящему времени опыт позволяет синтезировать различные типы наплавочных сплавов на основе существующих проволочных материалов [1–2] в условиях печного нагрева. Однако при таком способе требуется разработка специальных контейнеров и длительное температурное воздействие, что не всегда экономически обосновано.

Нами предложен способ и оборудование, позволяющие провести термодиффузионное насыщение стальной проволоки бором и титаном [3–4]. В качестве источника тепла использовался электрический ток, пропускаемый непосредственно через изделие в режиме термоциклирования. Обработка производилась по маятниковой схеме, при которой выдержка при максимальной и минимальной температуре нагрева не предусмотрена.

Использование внутреннего источника нагрева предполагает, что температура стальной проволоки выше температуры насыщающей среды. Это меняет кинетику процессов, протекающих при термодиффузионном насыщении изделия, по сравнению с печным нагревом, так как легирующие элементы более активно проникают вглубь основного материала, не успевая сформировать высококонцентрированные фазы на поверхности. При выборе режима обработки с достаточным уровнем тепловложения и временем оказываемого воздействия можно добиться сквозного термодиффузионного насыщения стальной проволоки бором и титаном. В настоящее время среднее время обработки каждого микрообъема непрерывного движущегося проволочного материала составляет 2–3 минуты.

При термодиффузионном насыщении стальной проволоки Св 08Г2С ГОСТ 2246-80 диаметром 1,2 мм титаном в качестве насыщающей смеси применялся порошок ферротитана ФТи 35 (35 % Ti) ГОСТ 4761-91. Обработка проводилась при длительности нагрева $\tau_{\text{н}} = 10$ с и длительности охлаждения $\tau_{\text{о}} = 1$ с.

Исследовалось влияние фракционного состава насыщающей среды на толщину формируемого слоя, так как в данном случае граница «диффузионный слой-основа» является четко выраженной. Для этого порошок ферротитана ФТи 35 был разделен на четыре группы со следующим размером частиц:

- первая группа: от 0 до 63 мкм;
- вторая группа: от 63 до 160 мкм;
- третья группа: от 160 мкм до 200 мкм;
- четвертая группа: от 200 до 315 мкм.

Металлографические исследования показали, что при термодиффузионном насыщении стальной проволоки титаном в режиме циклического электроконтактного нагрева диффузионный слой наименьшей толщины формируется при размере частиц первой группы (рис. 1). Предпочтительно использование насыщающей смеси с фракционным составом от 160 мкм до 200 мкм.

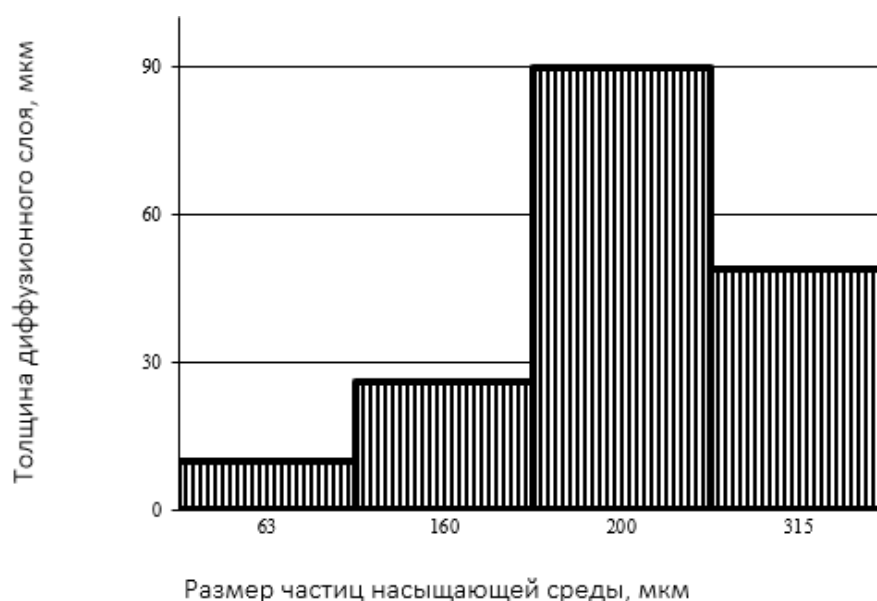


Рисунок 1. – Зависимость толщины диффузионного слоя от размеров частиц насыщающей среды

Было проведено термодиффузионное насыщение стальной проволоки Св 08Г2С ГОСТ 2246-80 диаметром 1,2 мм бором в порошке ферробора ФБ 17 (17 % В) ГОСТ (14848-69) и смеси, состоящей из 99 % В4С + 1 % NaF. При использовании второго

состава формирование диффузионного слоя не наблюдалось. Это позволяет рекомендовать для использования в качестве насыщающих сред порошки чистых металлов либо ферросплавы, образующие с железом твердые растворы.

При термодиффузионном насыщении стальной проволоки бором граница «диффузионный слой-основа» не всегда выражена явно, что не позволяет точно измерить толщину диффузионного слоя. Для оценки влияния фракционного состава насыщающей среды на кинетику процесса использовалась масса до и после обработки. Насыщающая среда была разделена на группы по аналогии с порошком ферротитана. Была установлена зависимость производительности термодиффузионного насыщения стальной проволоки бором, измеряемая в $\text{г/мм}^2 \cdot \text{мин}$ (количество легирующего элемента, введенного в единицу площади за единицу времени) (рис. 2).

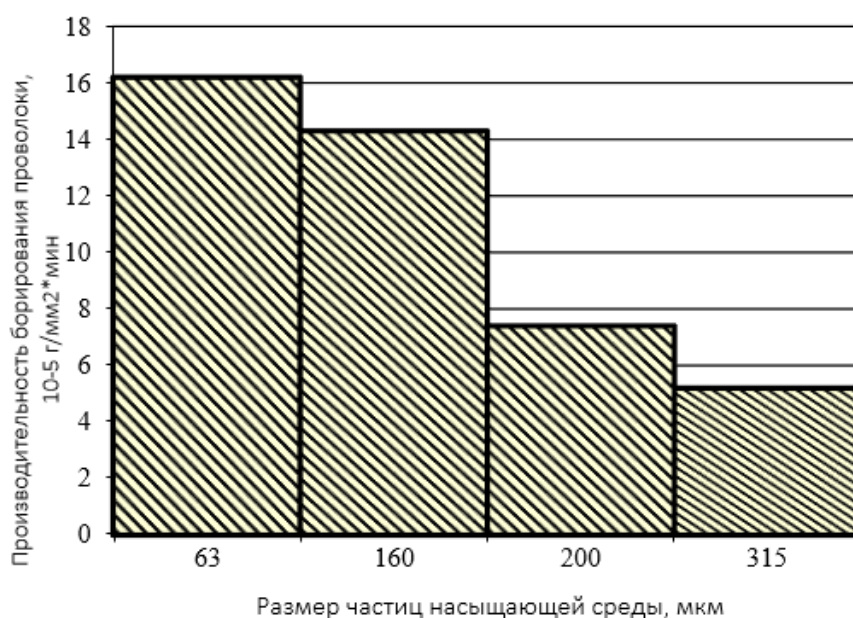


Рисунок 2. – Зависимость производительности термодиффузионного насыщения стальной проволоки бором от фракционного состава насыщающей среды

Наибольшая производительность наблюдается при размере частиц насыщающей среды 0–63 мкм. В этом случае масса стальной проволоки была максимальной. Однако, при таком размере частиц наблюдается налипание насыщающей смеси на поверхность проволоки, препятствующее ее прохождению между электроконтактными роликами, что может вызвать разрыв проволоки. При размере частиц 63–160 мкм налипание частиц насыщающей смеси также имеет место, однако это не препятствует стабильности процесса.

Таким образом, термодиффузионное насыщение стальной проволоки титаном и бором в условиях циклического электроконтактного нагрева имеет ряд особенностей. Использование внутреннего нагрева не предполагает получение высококонцентрированного бор- или титансодержащего слоя на поверхности изделия.

В качестве насыщающей среды следует выбирать порошки чистых металлов или ферросплавы. При выборе его фракционного состава надо учитывать порядок дальнейшего использования проволочного материала. Если планируется нанесение защитных покрытий, предпочтительным является фракционный состав от 160 мкм до 200 мкм. При повышенных требованиях к концентрации легирующего элемента, стоит обратить внимание на фракцию 0–63 мкм.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Константинов, В.М. Диффузионно-легированные сплавы для защитных покрытий: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.01 / В.М. Константинов; ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси». – Мн., 2008. – 46 с.
2. Дашкевич, В.Г. Поверхностно-легированная стальная проволока для наплавки деталей машин, работающих в условиях абразивного изнашивания / автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01 / В.Г. Дашкевич; ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси». – Мн., 2009. – 23 с.
3. Способ диффузионного насыщения стальной проволоки: Патент на изобретение № 13370 МПК (2009) С 23С 8/00, С 23С 10/00, С 23D 1/34 – В.М. Константинов, М.В. Семенченко, В.Г. Дашкевич, А.С. Губанов; заявитель УО «Полоц. гос. ун-т» № а 20080742 заявл. 05.06.08., Оpubл. 30.06.2010;
4. Установка для диффузионного насыщения стальной проволоки: : Патент на изобретение № 24331 МПК (2006) С 23С 8/60, С 23D 1/340 – В.М.В. Семенченко; заявитель УО «Полоц. гос. ун-т» № а 20220105 заявл. 20.04.22, Оpubл. 20.07.2024.