

Причиной аварийного износа инструмента при испытаниях являлись экстремальные напряжения (выше допустимых нагрузок на кромки) в процессе резания ДСтП с нестабильной структурой (рисунок 3, б). Визуальный анализ передней поверхности пластин показал, что выбоины, сколы отсутствуют, по периметру инструмента наблюдается изменение окраски кромки (рисунок 3, в). Также фиксируется налипание органических составляющих (клея, смолы) ДСтП на поверхность ножей (рисунок 3, г).

Таким образом, анализ результатов исследований свидетельствует, что использование твердосплавного инструмента обеспечивает высокое качество резания древесины и древесных композитов, однако не является гарантией защиты от аварийного износа инструмента. При этом нанесение упрочняющих тонкопленочных покрытий может обеспечить повышение ресурса работы твердосплавных ножей и обеспечить более равномерное распределение нагрузок при резании.

Данные исследования проводятся в рамках проекта БРФФИ Г11М-199 «Разработка основ комплексного подхода в исследовании механики износа режущего инструмента».

УДК 669.58

**В.М. КОНСТАНТИНОВ, д-р техн. наук,
И.А. БУЛОЙЧИК,
О. В. ЗДАНОВИЧ (БНТУ)**

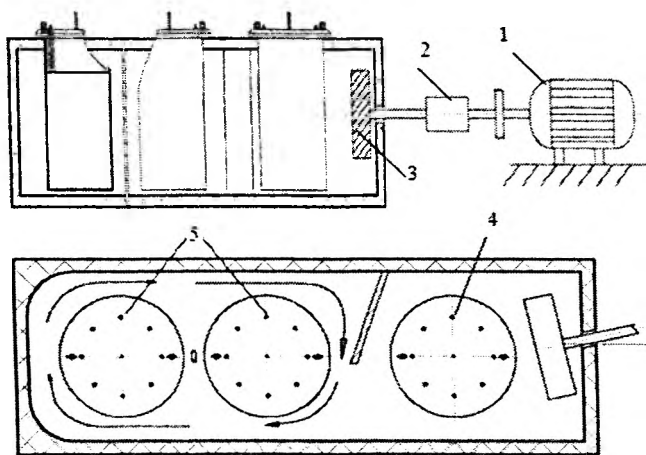
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ТЕРМОДИФфуЗИОННОГО ЦИНКОВАНИЯ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ

С учетом требований энергосбережения к процессам химико-термической обработки (ХТО) перспективу представляют только те технологии цинкования, которые могут обеспечить получение качественной антикоррозийной защиты при минимальных энерго- и ресурсозатратах. В условиях современного производства термодиффузионное цинкование (ТДЦ) является перспективным способом нанесения защитных покрытий на основе цинка. Основной объем

энергопотребления при данном способе ХТО приходится на нагрев и выдержку контейнеров, содержащих насыщающую смесь и обрабатываемые детали. Одной из особенностей процесса ТДЦ является необходимость остывания предварительно нагретого до температуры 400–500 °С контейнера перед распаковкой [1–3]. В этой связи актуальной является разработка мероприятий и приспособлений для регенерации теплоты нагретых реторт после цикла цинкования.

Термостат-рекуператор, представленный на рисунке 1, предназначен для рекуперации теплоты остывающего контейнера после ХТО и подогрева контейнеров перед следующим циклом термодиффузионного цинкования. Указанное устройство позволяет уменьшить время на нагрев и охлаждение обрабатываемых деталей и насыщающей смеси, что, в свою очередь, обеспечивает повышение производительности и экономию энергоресурсов.

Целью работы является тепловой расчет эффективности использования термостата-рекуператора, а также оценка экономического эффекта от его использования.



1 – электродвигатель; 2 – муфта; 3 – крыльчатка; 4 – нагретая реторта, помещаемая в рекуператор после процесса ТДЦ; 5 – реторты, помещаемые в рекуператор перед процессом ТДЦ

Рисунок 1 – Схема термостата-рекуператора

При расчете температуру воздуха t_b приняли равной 20 °С, объемную плотность тепловыделения – $q_0 = 5 \cdot 10^5$ Вт/м³. Расстояние между ретортами r_0 и такое же расстояние с учетом радиуса реторты r_1 приняли равным 0,5 и 0,8 м соответственно, внутренний диаметр реторты $d_1 = 0,6$ м, толщину стенки реторты δ равной 0,007 м. Реторта изготовлена из нержавеющей стали с теплопроводностью $\lambda_{ст} = 21$ Вт/м²·С. Коэффициент теплоотдачи конвекцией приняли равным 482 Вт/м²·С.

Температуру нагрева реторт определяли по формуле:

$$t = t_b + \frac{q_1}{\alpha_{эф}}, \quad (1)$$

где q_1 – плотность тепловыделения, Вт/м², определяемая по формуле:

$$q_1 = \frac{q_0 \cdot r_1}{2} \cdot \left(1 - \frac{r_0^2}{r_1^2} \right). \quad (2)$$

При $\alpha_{эф} = 482$ Вт/м²·С, плотность тепловыделения $q_1 = 121,87 \cdot 10^3$ Вт/м². Температура нагретой в печи реторты равна 273 °С, температура нагрева второй реторты равна 180 °С. Время нагрева второй реторты с учетом веса садки $N_c = 804,282$ кг, характерного размера $S = 0,0504$ м, а также расчетного значения критерия Био $Bi = 0,098$ (расчет для термически тонкого тела) составляет:

$$\tau = \frac{N_c \cdot C_p}{K \cdot \alpha} \cdot \ln \frac{t_p - t_{нач}}{t_p - t_{кон}} = 3157 \text{ с} \approx 53 \text{ мин}, \quad (3)$$

Здесь $t_{нач} = 180$ °С = 453 К; $t_{кон} = 420$ °С = 693 К; $t_p = t_{кон} + 50 = 743$ К.

На основании расчетных данных построены сравнительные графики теплового режима ТДЦ с использованием термостата-рекуператора и без него. На рисунке 2 представлено графическое отображение процесса термодиффузионного цинкования без использования термостата-рекуператора.

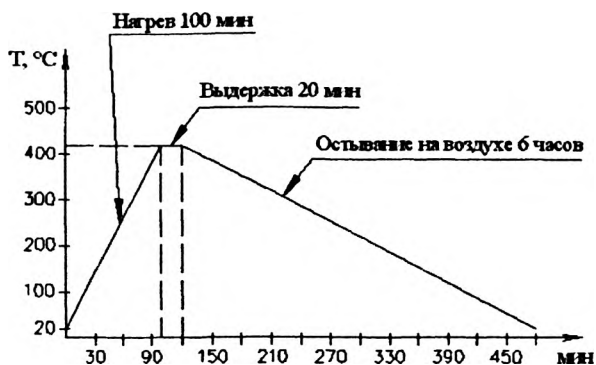


Рисунок 2 – Режим ТДЦ без использования термостата-рекуператора

При стандартной схеме процесс ТДЦ заключается в нагреве реторты с деталями и насыщающей смесью до температур, обеспечивающих испарение цинка и протекание диффузионных процессов, выдержке при данной температуре для формирования защитного слоя необходимой толщины и охлаждения реторты на воздухе. При использовании термостата-рекуператора для реторты, прошедшей стадию нагрева и выдержки в печи, изменяется схема охлаждения (рисунок 3).



Рисунок 3 – Режим ТДЦ с использованием термостата-рекуператора для реторты после цикла нагрев–охлаждение

После помещения реторты при температуре 420 °С в термостат-рекуператор активность диффузионных процессов высока и постепенно уменьшается с понижением температуры. Согласно данным источника [2] минимальная температура испарения цинка, обеспечивающая протекание диффузионных процессов с металлической поверхностью, составляет 300 °С. Следовательно, при нахождении первой реторты в термостате-рекуператоре происходит дальнейшее увеличение толщины диффузионного слоя, что позволяет сократить время выдержки в печи на 10 мин по сравнению с предыдущей ретортой. Интенсивность увеличения толщины диффузионного слоя в данных условиях в большей степени зависит от активности насыщающей смеси.

На рисунке 4 представлено графическое отображение режима ТДЦ при использовании термостата-рекуператора с учетом предварительного подогрева реторты перед процессом ТДЦ. При помещении холодной реторты в термостат-рекуператор перед процессом ТДЦ и нагреве насыщающей смеси до 200 °С процесс испарения цинка идет медленно и давления паров недостаточно для формирования диффузионного слоя. Однако, при данной температуре (расчетное значение – 180 °С) имеет место формирование газовой компоненты, осуществляющий впоследствии подвод активных атомов цинка к поверхности изделия.



Рисунок 4 – Режим ТДЦ с учетом помещения реторты в термостат-рекуператор перед и после процесса ТДЦ

За счет дополнительного прогрева насыщающей смеси и деталей активируются процессы, связанные с реакциями на границе раздела фаз, протекающими при нагреве реторты в печи до более высоких температур, что также ускоряет процесс формирования диффузионного слоя и дает возможность сократить время нагрева и выдержки в печи до 53 и 10 мин соответственно. После прохождения цикла ХТО реторта извлекается из печи и снова помещается в термостат-рекуператор для передачи теплоты следующей реторте.

Затраты на потребляемую электроэнергию определяли с учетом мощности печи Дистек-450 (180 кВт) и времени одного цикла ТДЦ при реализации восьми циклов в день. Время, затрачиваемое на один цикл ТДЦ без использования термостата-рекуператора, составляло $\tau_{\text{ТДЦ}} = 120$ мин. При использовании термостата-рекуператора $\tau_{\text{ТДЦ}} = 110$ и 63 мин для первой и второй реторты соответственно. Данные экономического эффекта от использования термостата-рекуператора приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Экономический эффект от использования термостата-рекуператора

Номер цикла		Затраты на электроэнергию за один цикл ТДЦ без использования термостата-рекуператора, руб.	Затраты на электроэнергию за один цикл ТДЦ с использованием термостата-рекуператора, руб.	Экономия, руб.
1		154 220	141 370	12 850
2		154 220	80 970	73 250
Итого	за 2 цикла	308 440	222 340	86 100
	за 1 год	312 141 000	179 164 000	132 977 000

Таким образом, применение системы рекуперации теплоты при процессах термодиффузионного цинкования позволяет более эффективно использовать тепло от нагретых реторт. Применение термостата-рекуператора позволяет сократить время выдержки в печи последовательно используемых реторт в 2 раза, тем самым сокра-

шая затраты на общий цикл обработки изделий. Расчетный экономический эффект за год от применения системы рекуперации составил 132 977 000 бел. руб.

Литература

1. Астрейко, Л.А. Нанесение антикоррозионных цинксодержащих покрытий: анализ рынка существующих технологий, области применения и требования, предъявляемые к покрытиям / Л.А. Астрейко, В.М. Константинов // Сварка и родственные технологии: материалы докладов междунар. симпозиума, Минск, 24 марта 2010 г. – Минск, 2010. – С. 118–122.
2. Проскуркин, Е.В. Диффузионные цинковые покрытия / Е.В. Проскуркин, Н.С. Горбунов. – М.: Metallurgia, 1972. – 248 с.
3. Исакаев, Э.Х. Расширение технологических возможностей способа термодиффузионного цинкования / Э.Х. Исакаев, В.Б. Мордынский, Н.О. Спектор // Сварочное производство. – 2009. – № 7. – С. 46–50.

УДК 621.791.92

А.В. СТЕФАНОВИЧ (БНТУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ НАПЛАВЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ДИФФУЗИОННО- ЛЕГИРОВАННЫХ ОТХОДОВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

В настоящее время для восстановления и повышения стойкости деталей машин и инструмента используется большое количество наплавочных материалов [1]. Для наплавочных материалов системы Fe–Л.Э.–С износостойкость наплавленного покрытия определяется структурой, которая должна состоять из твердых фаз карбидов, карбоборидов, боридов, а металлическая матрица должна быть аустенитно-мартенситной. Соотношение указанных фаз в наплавленном покрытии определяет его износостойкость, ударостойкость, выкрашивание и трещиностойчивость.