

## **ПОЛУЧЕНИЕ ПОКРЫТИЙ ИЗ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ НА ДЕТАЛЯХ ХОДОВЫХ СОПРЯЖЕНИЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПУТЕВЫХ МАШИН ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКОЙ**

**Белоцерковский М.А., Сосновский И.А., Курилёнок А.А.**  
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,  
Минск, Республика Беларусь

Задачей исследований, проведенных в данной работе, является повышение работоспособности и срока службы антифрикционных изделий ходовых сопряжений рабочих органов путевых машин, предназначенных для выправки, подбивки, отделки пути и очистки щебня.

Решение этой задачи осуществлялось путем разработки новой высокоэффективной технологии индукционной наплавки антифрикционных покрытий с использованием результатов теоретических исследований процесса проплавления наносимых слоев при индукционном нагреве.

Применение покрытий из композиций на основе алюминиевого сплава для создания антифрикционных деталей позволяет значительно сократить расход цветных сплавов, стоимость материалов и обеспечить повышение качества и надежности машин в целом. Одним из эффективных способов формования покрытий в холодном и горячем состоянии непосредственно во внутренней полости стальной заготовки-матрицы является центробежная индукционная наплавка. Для промышленной реализации этого метода разработаны технологии, оборудование и сопутствующая оснастка.

Известно, что в основе индукционной центробежной наплавки покрытий лежит технологическая схема, позволяющая реализовать следующую последовательность нанесения слоев покрытий. Сначала, с помощью индукционных токов, происходит разогрев вращающейся стальной цилиндрической заготовки до температур возможного фазового перехода из твердого в жидкое состояние материала композиции на основе алюминиевого сплава. Затем, в результате изотермической выдержки и теплообмена между разогретой внутренней поверхностью стальной цилиндрической заготовки и прижимаемого к ней центробежными силами материала композиции происходит послойное его расплавление с образованием после кристаллизации и охлаждения покрытий из алюминиевого сплава с подслоем между стальной основой и алюминиевым покрытием. Такая последовательность процесса нанесения слоев позволяет полагать, что технологические режимы индукционной центробежной наплавки определяются такими технологическими параметрами, как длительность процесса, мощность и частота электромагнитного излучения индуктора, а также линейными размерами стальной цилиндрической

заготовки, мощностью создаваемого на ее поверхности теплового источника, удельным сопротивлением, плотностью и теплопроводностью стали. Эти технологические параметры индукционной центробежной наплавки определяют температурный режим нанесения покрытий.

В результате наших исследований установлено, что распределение температуры в расплавленной зоне будет определяться зависимостью:

$$T_l(r, \tau) = - \frac{b\tau \ln \frac{r}{R} + (T_{nl} + b\tau) \ln \frac{\eta}{R} - T_{nl} \ln \frac{R}{\eta}}{\ln \frac{R}{\eta}} \quad (1)$$

где  $T_l$  – температуры жидкой фазы (расплава), К;  $T_{nl}$  – температура плавления присадочного материала, К;  $r$  – текущая координата, м;  $R$  – радиус внутренней поверхности заготовки, м;  $\eta$  – расстояние от оси вращения до границы плавления, м;  $\tau$  – время, с;  $b$  – темп нагрева, К/с.

На основании полученной зависимости (1) и уравнения теплопроводности можно получить дифференциальную зависимость:

$$-\lambda_1 \frac{b\tau}{\eta \ln \frac{R}{\eta}} = \rho\gamma \frac{d\eta}{d\tau} \quad (2)$$

где  $\lambda_1$  – коэффициент теплопроводности жидкой фазы, Вт/м·К;  $\gamma$  – удельная теплота плавления присадочного материала, Дж/кг;  $\rho$  – плотность присадочного материала, кг/м<sup>3</sup>.

Отсюда получим трансцендентное алгебраическое уравнение:

$$\eta^2 \ln \frac{R}{\eta} - \frac{1}{2} (R^2 - \eta^2) = - \frac{\lambda_1 b}{\rho\gamma} \tau^2 \quad (3)$$

которое определяет зависимость между координатой фронта плавления  $\eta$  и временем  $\tau$ .

Для проплавленного наносимого слоя при  $\eta = R_0$  решение (2) примет вид:

$$\tau = \frac{\rho\gamma_2}{b\lambda_1} \left[ \frac{1}{2} (R^2 - R_0^2) - R_0^2 \ln \frac{R}{R_0} \right] \quad (4)$$

где  $R_0$  – наружный диаметр заготовки, м.

Вышеизложенная модель устанавливает связь между технологическими параметрами индукционного нагрева и динамикой перехода из твердого состояния в жидкофазное состояние наносимого слоя на основании модельных допущений Лейбензона и Лыкова.

Проведенные исследования легли в основу разработки технологического процесса и оборудования для изготовления антифрикционных изделий с покрытиями (биметаллических втулок подбивочных блоков, гаек подъема электромагнитов путевых машин ВПР и ВПО) центробежным индукционным методом с использованием композиций на основе алюминиевых сплавов, что позволило снизить стоимость получаемых изделий с покрытиями в 2,3-2,7 раза по сравнению с материалами на медной основе, повысить производительность процесса нанесения покрытия в 1,3-1,4 раза и существенно снизить энергозатраты.