

ной проводимости, технологическое значение которого состоит в повышении энthalпии системы, активации ионов раствора и т.п., представляет собой хорошо изученную область (теория Дебая-Онзагера-Хюккеля).

Приближенный расчет проводимости вещества зерна, определяющей величину проходящего по его структурным элементам тока проведен с использованием в качестве базы метода, предложенного Френкелем Я. В результате получены аналитические зависимости проводимости зерна от температуры и влажности.

На основании уравнения Оделевского В.И., экспериментальных данных получена зависимость обобщенной проводимости влажной зерновой массы как гетерогенной системы от определяющих факторов (проводимостей раствора и вещества зерна, объемной насыпной массы зерна и объемной массы раствора, модуля увлажнения, влажности вещества зерна, усилия уплотнения).

Электрическую схему дисперсной системы, какую представляет собой влажная зерновая массы, можно изобразить физической моделью в виде эквивалентной схемы замещения. Последовательно и параллельно соединенные участки схемы представляют собой составляющие активных и реактивных потерь, вызванные различными видами поляризации в зерновой массе под действием электрического поля.

Физические и математические модели зерновой массы позволяют выявить качественные и количественные связи между показателями электрофизических и технологических свойств зерна, выбрать рациональные параметры электротехнологических процессов, объяснить механизмы воздействия электрофизикохимических факторов электрического поля на структуру материалов при их обработке.

### **Моделирование тепловых процессов при восстановлении деталей в электромагнитном поле**

**Кожуро Л. М.,** докт. техн. наук, проф., **Миранович А. В.,** **Тризна В. В.,** БГАТУ, г. Минск

Температура в системе покрытие-основа – один из основных факторов, влияющих на формирование физико-механических и эксплуатационных свойств покрытий, полученных электромагнитной наплавкой (ЭМН). При ЭМН энергия электроимпульсных разрядов не только расплавляет частицы порошка, но и повышает температуру поверхности основы в зоне наплавки. Известно, что подогрев заготовки улучшает как свойства покрытий, так и адгезионные свойства покрытия и основы. Вместе с тем перегрев системы приводит к уменьшению роста толщины покрытия, адгезии и понижению физико-механических свойств основы и покрытия.

Для расчета полей температур в покрытии и основе при ЭМН примем непрерывным реальный дискретный процесс. Тогда каждому моменту времени ЭМН будет соответствовать некоторое температурное поле в покрытии и основе. Локальная температура в области развития и горения дугового разряда, где расплавляется и наносится на поверхность заготовки материал порошка, может несколько превышать среднюю температуру поверхности. Однако, ввиду того, что наплавляемый участок поверхности охлаждается до температуры основы за время не более  $10^{-2}$  с, а толщина покрытия не превышает 0,5 мм, термические циклы предыдущего и последующего дуговых разрядов будут испытывать взаимное влияние только при большой скорости вращения заготовки. Данная скорость неприемлема для ЭМН из-за возникновения сил инерции, выбрасывающих порошок из рабочей зоны.

Математическая модель тепловых процессов ЭМН должна содержать уравнения теплопроводности, учитывающие различия теплофизических свойств покрытия и основы (теплопроводности  $\lambda$ , теплоемкости  $c$ , теплоотдачи  $\alpha$ , температуропроводности  $\omega$ ), а также граничные условия, отражающие особенности метода.

Описывая процесс ЭМН граничными условиями первого и второго рода и принимая реальный дискретный процесс стационарным, а тепловой поток, поступающий в покрытие, полностью идущим на разогрев основы, распределенных температурных полей в системе покрытие-основа может быть получено по методу источников теплоты. Так, используя этот метод, получено выражение для быстродвижущегося линейного источника:

$$Q_r = \frac{q_r \sqrt{\omega}}{2\lambda \sqrt{\pi v (z - z_u)}} \exp \left[ -\frac{vy^2}{4\omega(z - z_u)} \right] \times \left\{ \operatorname{erf} \left[ (\ell_0 + x) \sqrt{\frac{v}{4\omega(z - z_u)}} \right] + \operatorname{erf} \left[ (\ell_0 - x) \sqrt{\frac{v}{4\omega(z - z_u)}} \right] \right\},$$

где  $Q_r$  - интенсивность источника, распределенного вдоль отрезка длиной  $2\ell_0$ ;  $\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp(-y^2) dy$  - функция интеграла вероятности Гаусса;  $v$  - скорость главного движения при наплавке;  $z$  - координата источника тепловыделения.

При большом числе проходов  $N$  с начала обработки значение функции выравнивания температур  $\Phi_n(r, t_n)$  приближается к единице. В этом случае определение температурных полей целесообразно проводить с учетом накопления теплоты бесконечным цилиндром с постоянно действующим источником теплоты, распределенным по его боковой поверхности. Поэтому для рассмотрения температурных полей по всему объему детали использо-

вали решение нестационарной одномерной задачи с граничными условиями

ми первого рода: 
$$\frac{Q_c - Q}{Q_c - Q_0} = \sum_{n=1}^{\infty} 2 \exp\left(-\frac{\mu_n^2 \omega}{R^2}\right) \frac{J_0\left(\frac{\mu_n r}{R}\right)}{\mu_n J_1(\mu_n)},$$

где  $Q_0$  и  $Q_c$ - температура поверхности до начала нагрева и после него;  $\mu_n = (2n-1)\pi/2$ ;  $t$ - текущее время;  $r$  и  $R$ - текущий и максимальные радиусы восстанавливаемой детали;  $J_0$  и  $J_1$  – функции Бесселя нулевого и первого порядка соответственно.

Разработанная математическая модель тепловых полей в системе покрытие-основа позволила, с применением ЭВМ, изучить тепловые процессы, происходящие при ЭМН. Выявлено, что высокие температуры до 1700...1900 °С сконцентрированы у поверхности заготовки на глубине до 1 мм. Пик температуры после 0,0025 с становится сглаженным и температура в системе основа-покрытие на глубине 0,4 мм выравнивается. Температурная стабилизация заготовки происходит за 30 с, что свидетельствует о том, что тепловые поля не изменяются на протяжении всего процесса обработки заготовки.

### **К вопросу об интенсификации теплопереноса в тепловых трубах**

**Минич Д.Н., БГАТУ, г.Минск**

Повышение эффективности энергоиспользования стало экономически необходимо во всех сельскохозяйственных производственных процессах в связи с ростом стоимости энергоресурсов и их дефицитом.

Одним из основных направлений создания энергосберегающих отопительно-вентиляционных систем животноводческих и птицеводческих помещений в условиях Республики Беларусь является разработка более совершенных конструкций теплоутилизаторов с целью использования теплоты вытяжного воздуха для подогрева холодного приточного. Применение теплоутилизаторов позволяет снизить расход энергии на отопление сельскохозяйственных помещений путём использования вторичных теплоэнергоресурсов для подогрева вентиляционного воздуха.

Представляются перспективными конструкции теплоутилизаторов на тепловых трубах.

Одним из важнейших путей;повышения эффективности таких теплоутилизаторов является интенсификация процессов теплообмена и теплопереноса. Предлагается осуществлять это электротехнологическими методами, в частности применением электрического и магнитного полей.

Направление исследований состоит в следующем. Участок тепловой трубы с электропроводящей жидкостью (раствор электролита), содержащей