

Проведені теоретичні дослідження теплових процесів при плазмовій обробці деталей сільськогосподарської техніки з використанням ультразвукових коливань

Ключові слова: плазмова обробка, ультразвукові коливання

Произведено теоретическое исследование тепловых процессов при плазменной обработке деталей сельскохозяйственной техники с использованием ультразвуковых колебаний

Ключевые слова: плазменная обработка, ультразвуковые колебания

A theoretical research of thermal processes was made at plasma treatment of details of agricultural technique at the use of ultrasonic vibrations

Keywords: plasma treatment, ultrasonic vibrations

К ВОПРОСУ ТЕОРИИ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

А.В. Горбенко

Старший преподаватель, кандидат технических наук
Полтавская государственная аграрная академия
ул. Сковороды, 1/3, г. Полтава, Украина, 36003
Контактный тел.: (0532) 22-29-81

1. Введение

Надежность восстановленных деталей сельскохозяйственной техники в значительной степени зависит от эффективности выбранного технологического процесса, который оказывает влияние на физико-механические свойства поверхностей. Поверхностная обработка нагревом концентрированным потоком энергии, которая используется как при изготовлении новых, так и при восстановлении изношенных деталей, является перспективным технологическим процессом, позволяющим значительно экономить энергетические, трудовые и материальные ресурсы.

2. Постановка проблемы

Путем регулирования температурно-скоростных режимов плазменной поверхностной обработки можно изменять структурно-фазовое состояние поверхности, создавая оптимальный набор микроструктур, обеспечивающий высокие механические свойства. Особый интерес представляет плазменная обработка с использованием ультразвуковых колебаний, благодаря которым можно достичь более оптимальные параметры восстановленных и упрочненных поверхностных слоев.

3. Анализ основных исследований и публикаций по данной проблеме

В реализации поставленной задачи важное значение приобретает вопрос изучения тепловых процессов, протекающих при плазменной ультразвуковой обработке.

При воздействии плазменной дуги на поверхности восстанавливаемой или упрочняемой детали протекают различные физико-химические процессы, характер которых, в основном, определяется температурой, скоростью и временем нагрева, скоростью охлаждения рабочего инструмента и свойствами обрабатываемого материала.

В основе плазменной поверхностной обработки лежит способность плазменного источника создавать на небольшом участке поверхности высокие плотности теплового потока, достаточные для нагрева, плавления или испарения практически любого металла. Основной физической характеристикой плазменной обработки является температурное поле, значение которого дает возможность оценить температуру в разных точках зоны термического воздействия (в разные моменты времени), а в конечном итоге структурное состояние и фазовый состав поверхностного слоя материала [1].

Плазменная поверхностная обработка, в последние годы, находит широкое применение, так как происходит повышение долговечности и надежности восстанавливаемых деталей при их эксплуатации без сниже-

ния работоспособности. Однако это требует решение следующих задач:

- первая заключается в поверхностном локальном упрочнении рабочей поверхности детали до определенной твердости с получением мелкодисперсной структуры металла упрочненного слоя, так как эти факторы обеспечивают снижение темпов износа и уменьшение коэффициента трения [2];

- вторая связана с формированием полей внутренних напряжений, действующих как в объеме металла, так и между зернами; в процессе плазменной обработки напряжения перераспределяются и уровень напряжений вблизи центра пятна нагрева имеет меньшие значения по сравнению с периферией, соответственно максимум напряжений смещается на некотором расстоянии от центра нагрева [2,3];

- третья связана с изменением тонкой структуры металла в результате плазменного поверхностного нагрева; в зависимости от режима плазменной обработки могут быть получены практически противоположные результаты [4].

4. Результаты исследований

Процессы поверхностной обработки требуют применения концентрированного источника нагрева с плотностью теплового потока на поверхности материала $10^3 - 10^6$ Вт/см² [5]. Основным фактором, отличающим обычный плазменный нагрев от ультразвукового, является механизм взаимодействия источника энергии с материалом. При использовании ультразвуковых колебаний нагрев поверхности материала плазменной струей осуществляется за счет вынужденного пульсирующего конвективного и лучистого теплообмена. Конвективный нагрев поверхности обусловлен переносом энергии плазменной дуги под действием теплопроводности и диффузии.

При нагреве поверхности металла плазменной дугой эффективность нагрева возрастает за счет использования ультразвуковых колебаний:

$$q = q_k + q_l + q_{у.к.}, \quad (1)$$

где q_k , q_l и $q_{у.к.}$ – соответственно эффективность нагрева за счет конвективного, лучистого теплообмена и за счет ультразвуковых колебаний.

Было установлено, что при обычной плазменной обработке доля лучистого переноса энергии от плазменной струи к поверхности металла составляет 2 - 8% от общего баланса энергии, а при использовании импульсной плазменной струи доля лучистого теплообмена возрастает до 20-30% за счет интегральной поглощательной способности поверхности.

Теплообмен между плазменной струей и упрочняемой поверхностью происходит в области пятна нагрева, условный диаметр которого равен:

$$d_n = \frac{3,46}{\sqrt{K}}, \quad (2)$$

где K - коэффициент сосредоточенности, характеризующий форму кривой нормального распределения,

а следовательно концентрацию энергии в пятне нагрева.

Коэффициент сосредоточенности играет большое значение в процессах плазменной обработки, поскольку регулирует скорость нагрева поверхностного слоя металла. На границе пятна нагрева удельный тепловой поток составляет 0,05 % от максимального [6]. При воздействии ультразвуковых колебаний коэффициент сосредоточенности увеличивается на 25% и будет равен:

$$K = \frac{16}{d_n^2}. \quad (3)$$

По концентрации теплового потока в пятне нагрева импульсные плазменные струи приближаются к электронному лучу и намного превосходят стационарные плазменные струи.

Уравнение процесса распространения тепла в массивном полубесконечном теле от мощного быстро движущегося нормально-распределенного источника нагрева, каким является плазменная струя, имеет вид [7]:

$$T(y, z, t) = T_0 + \frac{q}{2\pi \cdot \lambda \cdot v} \frac{\exp\left(-\frac{Z^2}{4a \cdot t}\right)}{\sqrt{t(t_0 + t)}} \quad (4)$$

где T - температура нагрева; y, z - ширина и глубина пятна нагрева; t - время нагрева; Z - расстояние по оси; T_0 - температура тела; g - эффективная мощность плазменной струи; λ, a - коэффициенты соответственно теплопроводности и температуропроводности; v - скорость перемещения источника.

Мгновенная скорость охлаждения будет выражаться зависимостью:

$$v_{охл} = \frac{dT}{dt}. \quad (5)$$

Таким образом, при использовании импульсной плазменной струи скорость нагрева поверхности металла при длительности теплового импульса в пределах 100 мкс, может достигать 10^7 °C/с, а скорость охлаждения 10^6 °C/с. При сокращении длительности импульса до 10 мкс, скорость нагрева и охлаждения увеличивается на порядок.

Однако, при действии на поверхность полубесконечного тела теплового движущегося источника, следует различать медленно движущийся, быстро движущийся и импульсный источники тепла. Первый случай имеет место тогда, когда теплонасыщение успевает произойти раньше, чем пятно нагрева пройдет расстояние, равное радиусу пятна нагрева. При этом максимальная температура нагрева материала находится в центре пятна нагрева. По мере увеличения скорости перемещения теплового источника максимум температуры сдвигается к краю нагрева, в сторону противоположную направлению перемещения теплового источника. Если тепловой источник движется с постоянной скоростью, то через определенный промежуток времени температурное поле вокруг движущегося

гося источника стабилизируется. При упрочнении импульсной плазменной струей, время распространения теплового потока соизмеримо со временем воздействия плазменной струи на материал. В реальных условиях после прекращения действия теплового источника происходит выравнивание температуры.

Температура любой точки материала на оси теплового источника при его ультразвуковых колебаниях, определяется из выражения:

$$T(z, t) = \frac{W}{\lambda} \left(2\sqrt{\frac{a \cdot t}{\pi}} - Z \right), \quad (6)$$

где W - плотность энергии в пятне нагрева, которая, учитывая частоту ультразвуковых колебаний, выражается следующей зависимостью:

$$W = \frac{4q_{эф}}{\pi f \cdot d_n^2}, \quad (7)$$

где $q_{эф}$ - эффективная тепловая мощность плазменной струи (дуги); f - частота колебаний.

Из выражений (6) и (7) можно получить значение протяженности по глубине зоны нагрева до заданной температуры за счет плазменного ультразвукового нагрева.

$$Z = 2\sqrt{\frac{a \cdot t}{\pi}} - \frac{\pi \lambda \cdot T \cdot f \cdot d_n^2}{4q_{эф}}, \quad (8)$$

5. Выводы

На основании проведенных теоретических исследований была получена зависимость для определения протяженности по глубине зоны нагрева до заданной температуры при плазменном ультразвуковом нагреве.

Литература

1. Лещинский Л.К. Плазменное поверхностное упрочнение / Лещинский Л.К., Смотугин С.С., Пирч И.И. – Киев: Техника, 1990. – 109с.
2. Коротков В.А. Восстановление и упрочнение деталей и инструмента плазменными технологиями / Коротков В.А., Бердников А.А., Толстов И.А. – Челябинск: Металл, 1993. – 144с.
3. Цун А.М. Упрочняющие и восстанавливающие покрытия / Цун А.М.
4. Кадыржаков К.К. Ионно-лучевая и ионно-плазменная модификация металлов / Кадыржаков К.К., Комаров Ф.Ф., Погребняк А.Д. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. – 640с.
5. Рылакин Н.Н. Основы электроннолучевой обработки материалов / Рылакин Н.Н., Зуев И.В., Углов А.А. – М.: Машиностроение, 1976. – 231с.
6. Миронов В.М. Массоперенос и фазообразование в металлах при импульсных воздействиях / Миронов В.М., Мазанко В.Ф., Герциркен Д.С., А.В. Филатов. – Самара: Изд-во Самарского ун-та, 2001. – 232с.
7. Багрянский К.В. Теория сварочных процессов. - К.: Высшая школа, 1988. – 559с.