

аппаратов или оптимизацией расположения высевных отверстий в существующих.

Из анализа зависимостей, приведенных на рисунках 4 и 5, следует, что при разработке новых конструкций туковысевающих аппаратов также необходимо обеспечить возможность регулирования характера изменения коэффициента заполнения кожуха материалом по длине штанги при изменении нормы внесения удобрений или скорости движения агрегата.

Библиографический список

1. Забродин, В.П. Шнековые распре-

делители минеральных удобрений / В.П. Забродин. – Ростов-на-Дону: ООО “Терра”; НПК “Гефест”, 2003. – 132 с.

2. Коробской, С.А. Совершенствование технологического процесса внесения минеральных удобрений спирально-шнековым аппаратом: Дисс. канд. техн. наук / Коробской С.А. – зерноград, 2005. – 180 с.

3. Пат. С 1 2244395 RU 7А 01 G 15/08. Спирально-шнековый смеситель-разбрасыватель минеральных удобрений / В.П. Забродин, И.Г. Пономаренко, С.Б. Панёв. – № 2003138208; заявл. 13.01.04. – Оpubл. 20.01.2005, Бюл. № 2.

УДК 631.3.004.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ЕЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Яковлев Сергей Александрович, кандидат технических наук, доцент

Каняев Николай Петрович, ассистент,

ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина»

432017, г. Ульяновск, Бульвар Новый Венец, 1

E-mail: Jakseal@mail.ru, kaniaevi@mail.ru

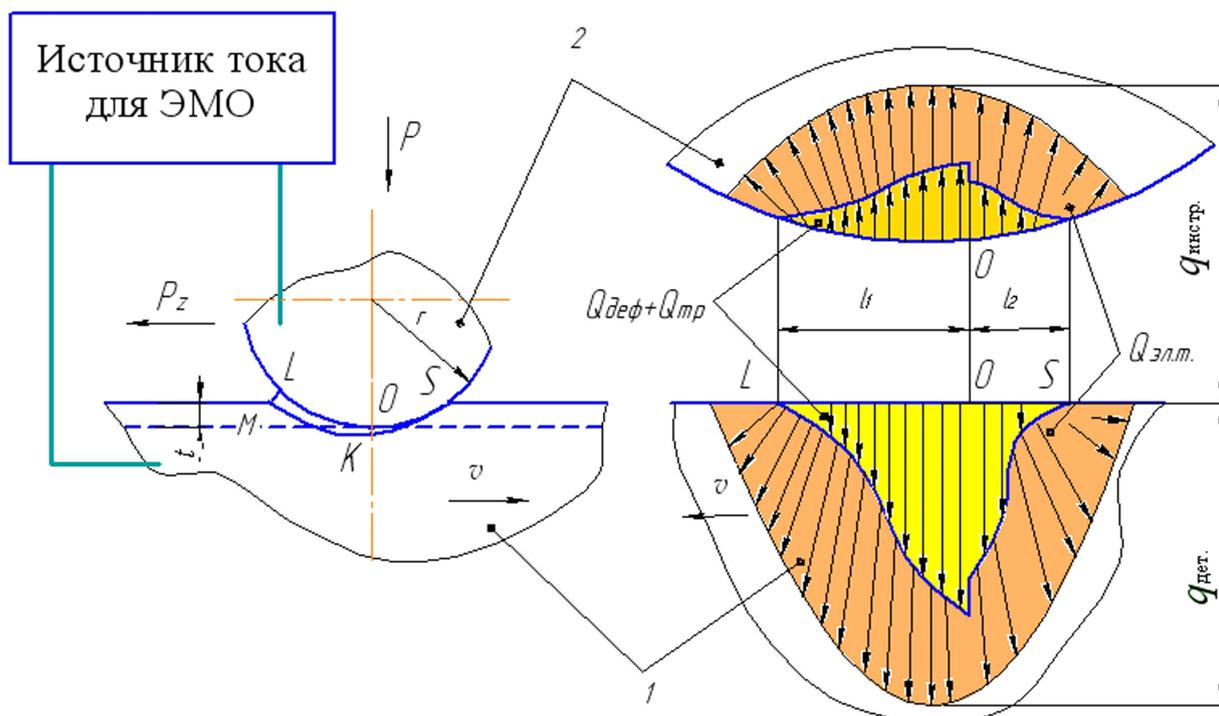
Ключевые слова: электромеханическая обработка, способ, поверхность, тепловыделение, интенсивность.

Проанализировано влияние электрофизических параметров электромеханической обработки на ее технологические особенности. Определена зависимость тепловыделения от механического и электрического воздействия. Приведены рекомендации по выбору режимов обработки.

Электромеханическую обработку (ЭМО) относят к современным наукоемким технологиям воздействия концентрированными потоками энергии на поверхности деталей машин. Процессы ЭМО успешно конкурируют с такими классическими технологиями, как: поверхностная пластическая деформация (ППД), термическая обработка (ТО) и термомеханическая обработка (ТМО). Меняя технологические режимы ЭМО (плотность тока J , скорость обработки v и давление обрабатывающего инструмента на поверхность детали P), на несложном

станочном оборудовании можно выполнять операции горячей ППД, поверхностной ТМО и поверхностной ТО. Достоинствами технологии ЭМО являются простота и высокая эффективность, низкие энергозатраты на выполнение операций, безопасность и экологическая чистота, возможность быстрого, плавного изменения режимов и встраиваемость в технологический цикл изготовления и восстановления изделий.

Несмотря на большое число разновидностей процессов ЭМО, сущность их состоит в одном: происходит одновременное тер-



1 - заготовка; 2 - электрод-инструмент; l_1 и l_2 - длины контактных площадок на передней и задней поверхностях инструмента

Рис. 1 – Процесс ЭМО (а) и структурная схема теплообмена (б)

момеханическое воздействие на локальные микрообъемы поверхности детали за счет того, что через зону контакта деформирующего электрода-инструмента и детали проходит ток большой плотности (до $10^8 \dots 10^9$ А/м²) и низкого (1...6 В) напряжения. Вследствие этого на контактирующей поверхности изделия выделяется большое количество теплоты, происходят высокоскоростной нагрев поверхности с одновременным ее пластическим деформированием и последующее интенсивное охлаждение за счет отвода теплоты внутрь детали. Это позволяет изменить структуру поверхностного слоя, получить на поверхности различную микро- и макрогеометрию, остаточные напряжения сжатия, что приводит к значительному повышению служебных характеристик изделий [1, 2].

При электромеханической обработке теплота в зоне контакта выделяется от проходящего тока ($Q_{эл.т.}$), деформации микронеровностей обрабатываемой детали ($Q_{деф.}$) и трения инструмента по детали ($Q_{тр.}$) (рис. 1).

С точки зрения теплофизического анализа при схематизации процесса необходи-

мо источники тепловыделения считать трехмерными. При этом следует иметь в виду, что на поверхности контакта между движущимся инструментом и заготовкой, как правило, могут быть выделены два участка l_1 и l_2 , аналогичные площадкам контакта на передней и задней поверхностях лезвийного инструмента. Рабочая поверхность инструмента имеет форму дуги окружности радиусом r . Разделим всю дугу контакта LOS на два участка. Участок OL прилегает к области, в которой осуществляется основная работа по поверхностному пластическому деформированию металла, этот участок аналогичен передней поверхности лезвийного инструмента. На втором участке OS происходит взаимодействие инструмента с упруго восстанавливающимся слоем материала заготовки.

Пластическое и упругое деформирование материала происходят в некотором объеме $MLOSKM$. При движении заготовки со скоростью v основному пластическому деформированию подвергается объем $MLOKM$, прилежащий к передней поверхности инструмента. Здесь же возникают и

упругие деформации, происходящие вблизи поверхности МК. Что же касается части объема материала, прилежащей к задней поверхности инструмента, то здесь в основном происходит упругое, а в меньшей мере - пластическое деформирование поверхностного слоя заготовки. На каждом из участков OL и OS существует трение между поверхностью инструмента и заготовкой.

На долю электрического тока в зависимости от вида электромеханической обработки приходится до 98% всех тепловыделений. Выделяющаяся теплота расходуется на нагрев детали ($Q_{дет.}$), инструмента ($Q_{инстр.}$) и конвективный теплообмен с окружающей средой ($Q_{конв.}$).

Уравнение теплового баланса при ЭМО имеет вид:

$$Q_{эл.т.} + Q_{тр.} + Q_{деф.} = Q_{дет.} + Q_{инстр.} + Q_{конв.}, \quad (1)$$

Учитывая, что конвективный теплообмен приблизительно постоянен и величина его мала, а тепловыделение от трения и деформации также невелико, то отдачей теплоты в окружающую среду и теплотой, связанной с деформацией и трением, можно пренебречь (считая, что вся тепловая энергия от прохождения тока поглощается металлом и сохраняется в нем вследствие де-

формации кристаллической решетки). Тогда тепловой баланс при контакте инструмента с деталью опишется уравнением:

$$Q_{эл.т.} = Q_{дет.} + Q_{инстр.} = I^2 \cdot R_k \cdot \eta \cdot t = \Delta U \cdot I \cdot t, \quad (2)$$

где I - сила тока во вторичной цепи, А; R_k - сопротивление контакта, Ом; η - коэффициент полезного действия рабочей цепи; ΔU - падение напряжения в участке цепи (в месте контакта), В, t - время, с.

Количество теплоты в единицу времени (тепловой поток) $q = Q/t$ от электронагрева на поверхности детали и инструмента также зависит от тока и изменения ΔU и определяется по формуле:

$$q_{эл.т.} = q_{дет.} + q_{инстр.} = \Delta U \cdot I; \quad (3)$$

Если рассматривать в определенный момент времени инструмент как заземлитель с потенциалом U_0 , а деталь принять плоской, имеющей нулевой потенциал, то падение напряжения по поверхности детали будет зависеть от тока, проходящего через точку контакта, сопротивления детали, характера распределения потенциала и расстояния до места контакта [3]:

$$\Delta U = \frac{I \cdot \rho}{6,28 \cdot \Delta l}; \quad (4)$$

где ρ - удельное электрическое сопро-

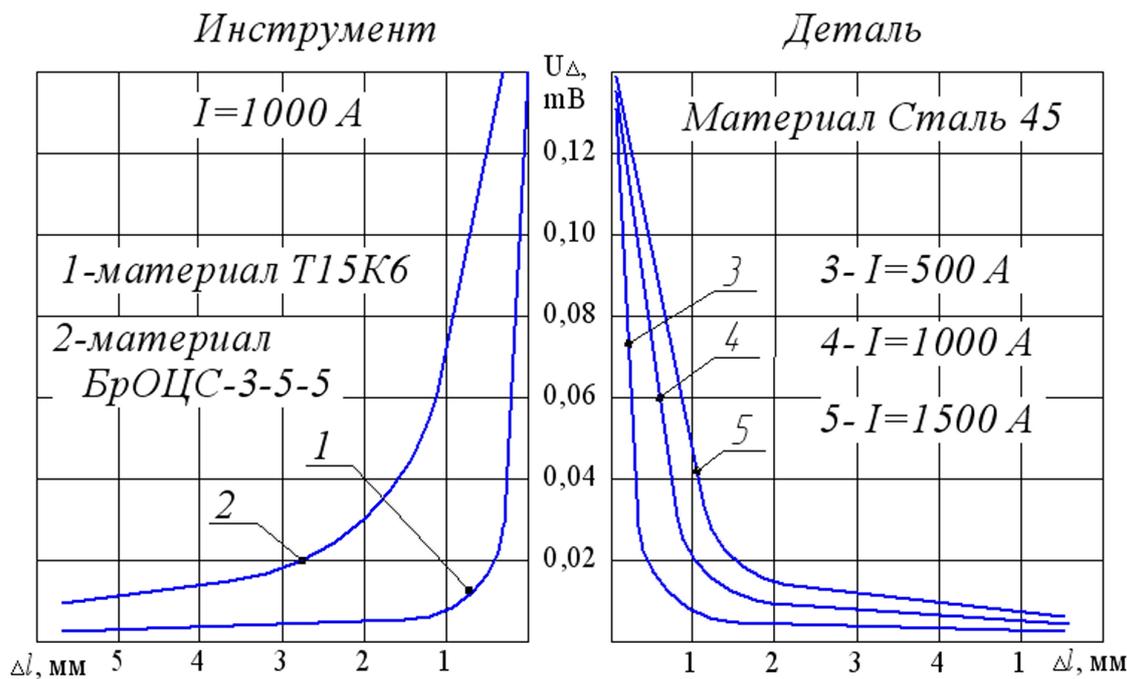


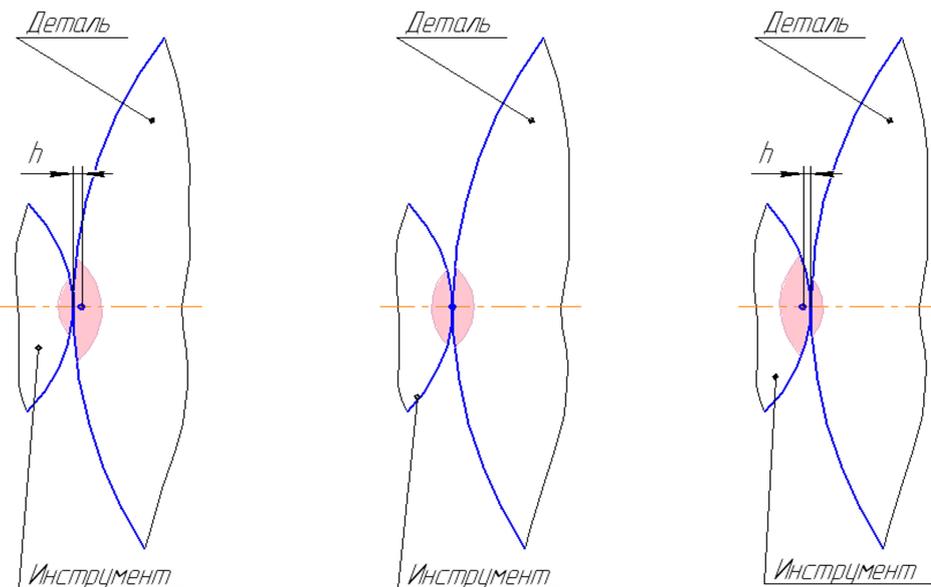
Рис. 2 – Зависимость распределения потенциала по поверхности детали и инструмента для различных материалов и силы тока

тивление материала, Ом·м; I - электрический ток, проходящий через точку контакта инструмента с деталью, А; Δl - расстояние до точки контакта, м.

Для выполнения процессов ЭМО могут применяться инструментальные и быстрорежущие стали, металлокерамика, медь и ее сплавы (латунь и бронза). Исследования показали, что наибольшую стойкость имеют пластины и ролики из твердых сплавов (Т15К6, ВК8, ТТ10К8Б, КНТ16) и бронзы (БрОСЦ-3-5-5, БрХ-1, БрБТН-1,7). Эти материалы значительно отличаются по удельному электрическому сопротивлению. На рисунке 2 представлена зависимость распределения потенциала по поверхности детали и инструмента для различных материалов и силы тока, (выражение 4).

Зона развития максимальной температуры в зависимости от сочетания электрофизических характеристик материалов детали и инструмента может находиться в месте их соприкосновения или смещаться внутрь детали или инструмента на глубину h (рис. 3). Как видно из рисунка, центр тепловыделения будет смещен в сторону наибольшего удельного сопротивления. Это объясняет тот факт, что наибольшая глубина термического влияния инструмента на деталь наблюдается при обработке инструментом из бронзы.

В зоне контакта обрабатывающего инструмента и заготовки, вследствие протекания высокотемпературных процессов и сложного объемного деформирования, изменение силы тока не сопровождается линейным изменением падения напряжения [4]. Перегибы кривых 1 и 2 при плотности тока $J \approx 200 \text{ А/мм}^2$ для твердосплавного и бронзового инстру-

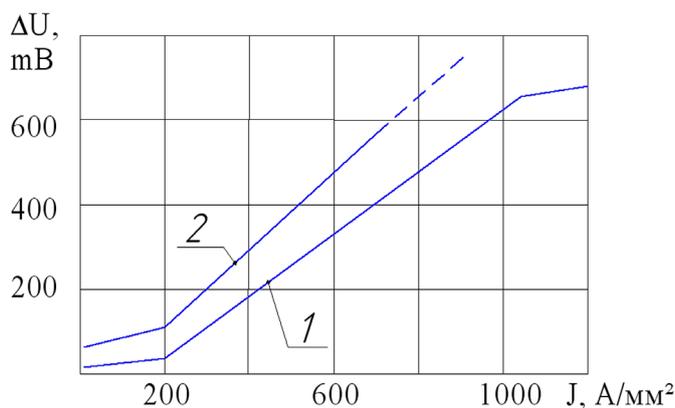


$$\rho_{\text{инст}} < \rho_{\text{дет}} \quad \rho_{\text{инст}} = \rho_{\text{дет}} \quad \rho_{\text{инст}} > \rho_{\text{дет}}$$

Рис. 3 – Схема размещения центра тепловыделения при электрохимической обработке роликовым инструментом цилиндрической детали

ментов (рис. 4), связаны с началом фазовых превращений в поверхностном слое детали и образованием здесь закалочных структур, до этого же момента прогревались лишь вершины микронеровностей поверхности заготовки, т.е. проводилась горячая поверхностная пластическая деформация.

Изгиб при плотности тока более 1100 А/мм^2 для бронзового инструмента объясняется нежелательным перегревом (вплоть до расплавления) металла заготовки, при этом такое оплавление сопровождается



1 - ЭМО бронзовым инструментом; 2 - ЭМО твердосплавным инструментом

Рис. 4 – Зависимость падения напряжения ΔU в месте контакта инструмента с деталью от плотности тока J при ЭМО

значительным ухудшением качества обработанной поверхности. Необходимо отметить, что обработка твердосплавным инструментом плотностью тока более 800 А/мм² нежелательна из-за сильного нагрева инструмента, что резко снижает его стойкость.

После некоторых преобразований можно определить, что общее количество теплоты, выделяющееся в определенный промежуток времени на поверхности детали, зависит от пути S , пройденного источником тепловыделения. Для составляющей от механического воздействия ($Q_{тр.} + Q_{деф.}$) оно не зависит от скорости, а для электрического - обратно пропорциональна этой величине:

$$Q_{эл.т.} + (Q_{тр.} + Q_{деф.}) = \Delta U \cdot I \cdot t + (P_z \cdot v + P \cdot f_{мп} \cdot v) \cdot t = (\Delta U \cdot I \cdot S) / v + (P_z + P \cdot f_{мп}) \cdot S; \quad (5)$$

где P - усилие прижатия инструмента, Н; P_z - главная составляющая силы обработки (зависит от геометрии инструмента и детали), Н; v - скорость перемещения заготовки, м/с; $f_{мп}$ - коэффициент трения.

Необходимо отметить, что тепловые потоки от электрического воздействия не зависят от скорости обработки, а от механического фактора – зависимость пропорциональная:

$$q_{эл.т.} + (q_{тр.} + q_{деф.}) = \Delta U \cdot I + (P_z + P \cdot f_{мп}) v; \quad (6)$$

Проведенный анализ электрофизических параметров процесса показал, что плотность тока, скорость обработки, давление обрабатывающего инструмента, материал инструмента и детали в значительной степени определяют технологические особенности ЭМО. Так, обработка небольшими плотностями (менее 200 А/мм²) тока со значительными рабочими давлениями в контакте инструмента с деталью (300...500 МПа)

приводит к горячему поверхностному пластическому деформированию поверхности, при этом можно применять различные (до 2 м/с) скорости обработки. Для выполнения поверхностной ТО целесообразно использовать бронзовый инструмент, применять высокую плотность тока (700...1100 А/мм²) и сравнительно низкую скорость (менее 0,1 м/с) обработки, прижатие инструмента должно обеспечивать лишь надежный контакт с обрабатываемым изделием. Целенаправленное регулирование плотности тока в пределах 200...700 А/мм², скорости обработки в пределах 0,1...2 м/с, давления инструмента на деталь до 500 МПа обеспечивает качественную высокотемпературную и низкотемпературную ТМО.

Библиографический список

1. Аскинази, Б.М. Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой. - 3-е изд., перераб. и доп. / Б.М. Аскинази - М.: Машиностроение, 1989. - 200 с.
2. Багмутов, В.П. Электромеханическая обработка: технологические и физические основы, свойства, реализация / В.П. Багмутов, С.Н. Паршев, Н.Г. Дудкина, И.Н. Захаров. - Новосибирск: Наука, 2003. - 318 с.
3. Безопасность производственных процессов: Справочник / С.В. Белов, В.Н. Бринза, Б.С. Векшин и др.; Под общ. ред. С.В. Белова. - М: Машиностроение, 1985. - 448 с.
4. Надольский, В.О.,. Исследование электрических потенциалов в рабочей контуре при электромеханической обработке / О.В. Надольский, С.А. Яковлев // Сб. научных трудов УГСХА. - Ульяновск, ГСХА, 1997, с. 108-113.