

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

В.С. Рютин, Д.Д. Щербинин

В работе предлагаются технологии термической обработки деталей и инструментов сельскохозяйственных машин. Исследованы переходные процессы в различных фазах образования электролитно-плазменного разряда.

Ключевые слова: легирование, эксплуатация деталей, катод, анод.

В сельском хозяйстве применяется большое количество разнообразной техники и агрегатов. В состав большей части из них входят различные режущие инструменты (ножи косилок комбайнов, бороны, плуги и т. д.). Поверхность инструментов такого класса должна обладать высокой твердостью, износостойкостью и коррозионной стойкостью. Данных свойств можно добиться двумя способами: применением легированных сталей и сплавов и использованием качественной термической обработки углеродистых сталей. Первый вариант представляется мало приемлемым, ввиду высокой стоимости легированных сталей. В промышленном производстве режущие инструменты сельскохозяйственной техники изготавливают из углеродистой стали и подвергают поверхностной термической обработке.

В процессе эксплуатации деталей периодически возникает необходимость механической обработки (очистка, шлифовка, заточка и т. д.), которая ведет к уменьшению и последующему разрушению толщины закаленного слоя и снижению основных качественных характеристик режущей поверхности рабочего инструмента. При этом резко снижается срок службы агрегатов и увеличивается вероятность преждевременного выхода из строя детали.

Следовательно, для восстановления требуемых свойств поверхности режущих инструментов после ремонта необходимо производить повторную термическую обработку. Однако на сегодняшний день, несмотря на высокий уровень развития техники в области термической обработки, проблема качественной и недорогой (во всех отношениях) технологии, обладающей высокой мобильностью и универсальностью, остается актуальной и своевременной.

Целью работы является разработка технологии термической обработки режущего инструмента и деталей сельскохозяйствен-

ной техники с помощью электролитно-плазменной технологии, с учетом обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик качества поверхности.

В ходе работы был проведен анализ существующих технологий и устройств для термической обработки материалов. Он показал, что большинство технологий термической обработки не приемлемы для применения в мобильных ремонтных мастерских. К основным причинам, по которым рассмотренные технологии не могут быть применены в нашем случае, относятся:

- 1) большая потребляемая мощность;
- 2) большие габариты установки;
- 3) высокая стоимость;
- 4) сложность эксплуатации;
- 5) длительное время подготовки к работе.

Особенности нагрева деталей в электролите позволяют решать ряд сложных технологических задач, возникающих в областях термической обработки, причем качество нагрева и термической обработки не уступает другим современным методам нагрева. Описываемый способ имеет большие резервы и обладает высокой универсальностью.

При выполнении работы применяются теоретические и экспериментальные методы исследования. Теоретические методы исследования базируются на основных положениях теории термической обработки металлов, физики твердого тела и теории подобия. В результате проделанной работы установлена возможность реализации электролитно-плазменного разряда в технологических процессах термической обработки материалов в мобильных установках.

Явление нагрева катода в электролите наблюдается как частный случай процессов, происходящих при прохождении постоянного или переменного тока через электролитическую ванну.

Наиболее наглядно развитие процесса характеризует вольтамперная характеристика

ка разряда и зависимость коэффициента поверхностного натяжения от приложенного напряжения.

В первой фазе сила тока изменяется пропорционально напряжению. Кроме того, при повышении напряжения на электродах ванны сопротивление межэлектродного промежутка для одного и того же электролита почти не меняется. Около катода визуально не наблюдается каких-либо явлений, и происходит классический процесс электролиза. Какие-либо тепловые процессы визуально (без специального оборудования и приборов) обнаружить не удается.

Во второй фазе наблюдается незначительное образование пузырьков в околоэлектродном пространстве. Характер кривых и неизменность сопротивления системы свидетельствуют о том, что при режимах I и II в ванне идут обычные электрохимические процессы, т.е. в слое около катода не происходит каких-либо процессов, не являющихся классическими. Наблюдается однофазный нагрев жидкости. Если с течением времени величину напряжения не менять, то и ток изменяться не будет.

Все характеристики являются линейными; процессы, происходящие в данных областях, подчиняются классическим законам физики: электрические величины (напряжение и ток) законам Ома и Кирхгофа, выделение веществ закону Фарадея и т.д.

При увеличении напряжения количество пузырьков в прикатодном слое увеличивается, наблюдается процесс кипения. Процесс нагрева переходит в III фазу, причем, чем выше напряжение, тем кипение интенсивнее. При достаточно интенсивном кипении образующиеся в прикатодной области пузыри не успевают отрываться от поверхности катода. Периодически слой пузырьков пробивается, и между катодом и жидкостью возникают разряды, жидкость, окружающая катод начинает периодически отталкиваться от него (пульсировать), что приводит к сильным кратковременным колебаниям тока в цепи.

В этой фазе процесса сила тока с повышением напряжения падает за счет увеличения электрического сопротивления системы. Причем переход от обычного электролиза к нестационарным процессам, сопровождающимся кратковременными разрядами, происходит при определенных значениях силы тока, напряжения и концентрации электролита.

Как показали снятые осциллограммы режима III, в отличие от режима II, ток в цепи непрерывно меняется. Прогнозирование со-

стояния системы в этой области затруднительно.

Следует заметить, что падение напряжения на электролите в режиме горения разрядов на активных катоде или аноде может изменяться в широких пределах, составляя от нескольких до тридцати процентов от полного падения напряжения на электродах в зависимости от типа и концентрации электролита, геометрии и размеров электродов.

Полученные вольтамперные характеристики разряда позволили рассчитать полную мощность, вкладываемую в разряд, и удельную мощность разряда на единицу площади активного электрода. При разности температур тела и кипения жидкости менее 6 К теплообмен обусловлен естественной конвекцией; более 6 К, но менее 30-50 К – пузырьковым кипением; от 50 К до 200 К – частично-пленочным кипением; развитое пленочное кипение наступает только при перепадах температур выше 210 К, т.е. при температуре тела выше 480 К. Сравнение с экспериментальными данными, полученными в плазменно-электролитном разряде, показывает, что наступление соответствующих режимов теплоотдачи происходит при тех же перепадах температур электрода и электролита, что и для теплоотдачи от тел при кипении чистой воды в большом объеме с недогревом. Однако необходимые для этого плотности тепловых потоков, рассчитанные по полной мощности разряда, примерно вдвое превышают соответствующие плотности тепловых потоков, обеспечивающие такие же перепады температур при теплоотдаче нагреваемых нитей в воде в условиях кипения с недогревом в большом объеме.

Такое различие связано с особенностями плазменно-электролитического процесса, в котором нагрев электрода происходит вследствие протекания электрического тока через электролит и слой пара. При этом часть мощности, вкладываемой в эту зону может не приходиться на электрод, а расходоваться на поддержание разряда в оболочке. Для выяснения деталей процессов было проведено исследование теплового баланса в стационарном плазменно-электролитном процессе. При этом оказалось, что баланс тепла сводится с точностью $\pm 15-20\%$, что, по-видимому, соответствует реальной погрешности определения потерь на нагрев и особенно испарение электролита. Наилучшая точность баланса получена для пленочного кипения, которое характеризуется высокой устойчивостью разряда ($\pm 15\%$). Хуже была

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

устойчивость при нормальном электролизе вследствие газовыделения и парообразования вблизи электрода; наиболее неустойчивым был режим горения разряда без нагрева электрода (переходный режим от пузырькового к пленочному кипению).

Систематический характер разности энергий, пошедших на нагрев и испарение электролита и вложенных в ячейку, позволяет заключить, что дело не в погрешностях их измерения. Он может быть связан либо с потерями тепла через электрод, либо с завышением мощности разряда. Тот факт, что разбаланс увеличивается по мере увеличения флуктуаций (устойчивости режима), свидетельствует о справедливости последнего утверждения. Пульсация тока разряда, связанные с образованием пузырьков газа и пара, приводят к снижению средней мощности разряда. Это подтверждается детальными исследованиями этой фазы процесса. Оценки теплоотдачи от электрода в окружающую среду путем конвекции показали, что энергия, расходуемая этим путем, не превышает 5-6 %. Излучением электрода может уноситься даже при максимальном нагреве не более 5 % приходящего теплового потока. Несущественное влияние этих факторов на баланс тепла подтверждается и характером полученных зависимостей, т.к. увеличение температуры не приводит к увеличению разбаланса. В режиме электролиза на испарение электролита и газовыделение при $T = 355-372$ K расходуется 27-35 % мощности. При возникновении разряда эта доля увеличивается до 40-60 % при $T_{\text{ср}} = 373-379$ K и остается неизменной при дальнейшем разогреве электрода ($T_{\text{ср}} = 710-860$ K). Полученные данные о балансе тепла, малые времена достижения стационарного нагрева электрода (≤ 10 с), а также подобие кривой зависимости перепада температур между активным электродом и электролитом от плотности теплового потока соответствующей кривой для теплоотдачи при кипении позволяют сделать вывод: тепловой режим активного электрода устанавливается, в основном, в результате двух процессов – нагрева его протекающим электрическим током (бомбардировка заряженными частицами, ускоренными электрическим полем) и теплоотдачи при кипении к окружающему электролиту. При этом могут устанавливаться различные режимы кипения – пузырьковое, переходный режим и развитое пленочное кипение.

Подводимая мощность для нагрева катода и анода показана на вольтамперной ха-

рактеристике разряда (рисунок 1). Последние различны для различной полярности активности электрода, что и обеспечивает различные закономерности нагрева анода и катода, не находившие ранее разумного объяснения. Сложный характер кривой кипения позволяет объяснить и различный характер нагрева электрода одного и того же знака, но в различных как по химическому составу, так и по концентрации электролитах.

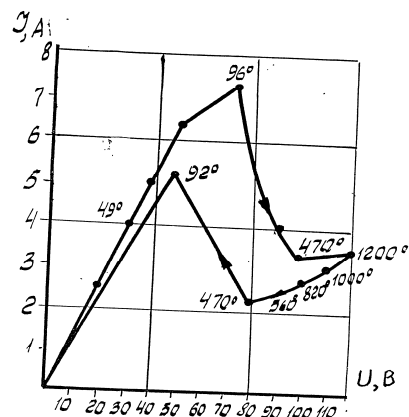


Рисунок 1 – Вольтамперная характеристика разряда

Если в переходной зоне между нормальным электролизом и установлением разряда, когда происходит перераспределение падения напряжения, сопровождающееся снижением тока, плотность теплового потока в электрод не превышает критического значения, режим теплоотдачи соответствует пузырьковому кипению с большой эффективностью, и электрод не нагревается, хотя стационарный разряд горит в паровой оболочке.

Энергию отрыва пузыря от поверхности предлагается использовать для начальных технологий обработки сельскохозяйственного инструмента. Например, для очистки поверхностей от масла, ржавчины и т.д.

По мере повышения напряжения на электродах частота искровых разрядов у катода увеличивается, пульсации прекращаются и у катода образуется устойчивая светящаяся оболочка; бурление электролита ослабевает. Катод разогревается, и ток через сплошной парогазовый слой протекает в виде микроразрядов. Наступает IV фаза процесса (рабочая), при которой происходит быстрый нагрев катода.

В IV фазе вокруг активного электрода существует сплошной и устойчивый парогазовый слой, который препятствует проникновению электролита к поверхности катода. Он

удерживается не только за счет газа, выделяющегося из электролита, но и за счет образования пара при испарении электролита. В зависимости от концентрации электролита и массового содержания солеобразующего элемента возникает ситуация с различными механизмами отделения рабочей заготовки от окружающего электролита. В нашем случае концентрация электролита составляет 15 % при напряжении 110 В. Механизм отделения катода от электролита представляет собой паровое ядро с незначительным количеством электролитного газа [1].

С увеличением степени ионизации газовой оболочки повышается частота разрядов и расширяется сечение каналов разряда. Таким образом, создается возможность получения тепловых потоков с различной частотой импульсов и различной интенсивности, а, следовательно, получения различных скоростей нагрева и условий теплопередачи, путем регулирования электрических параметров состояния системы.

При плазменно-электролитическом нагреве должны проявиться особенности, связанные с нагревом тела за счет электрического разряда, протекания электрического тока в оболочке. Они не могут быть связаны с наличием электростатических полей, как предполагалось в, так как для существенного изменения теплоотдачи требуются напряженности поля на несколько порядков величины больше реализуемых вблизи активного электрода.

Подобие явлений, наблюдаемых при плазменно-электролитическом нагреве, и теплоотдачи от нагреваемых тел при кипении жидкости в большом объеме позволяет по новому представить себе механизм нагрева. Электрод нагревается не столько за счет джоулевых потерь в нем (как это предполагалось ранее другими авторами), а за счет бомбардировки его поверхности током заряженных частиц, как это происходит в различных видах электрических разрядов. Этот тепловой поток компенсируется теплоотдачей от электрода в окружающий электролит, что вызывает его нагрев и испарение. Эффективность теплоотдачи зависит от ее режима: от этого зависит и температура поверхности электрода. Скачкообразные изменения режима от пузырькового к развитому пленочному при превышении максимальной (критической) плотности теплового потока вызывают скачкообразный нагрев; обратный переход при снижении плотности теплового потока меньше минимальной приводит к скачкооб-

разному охлаждению электрода (рисунок 2). Такое поведение температуры позволяет заключить, что температура газа в зоне горения разряда (в паровой оболочке) не превышает существенно температуры кипения электролита, иначе в любом режиме происходило бы не охлаждение, а нагрев электродов от горячего газа. Это приводит к специфической форме неравновесного разряда – распределенному пленочному разряду с низкой температурой газа, но высокой температурой электронов, достаточной для ионизации газа и обеспечения его проводимости (рисунок 3).

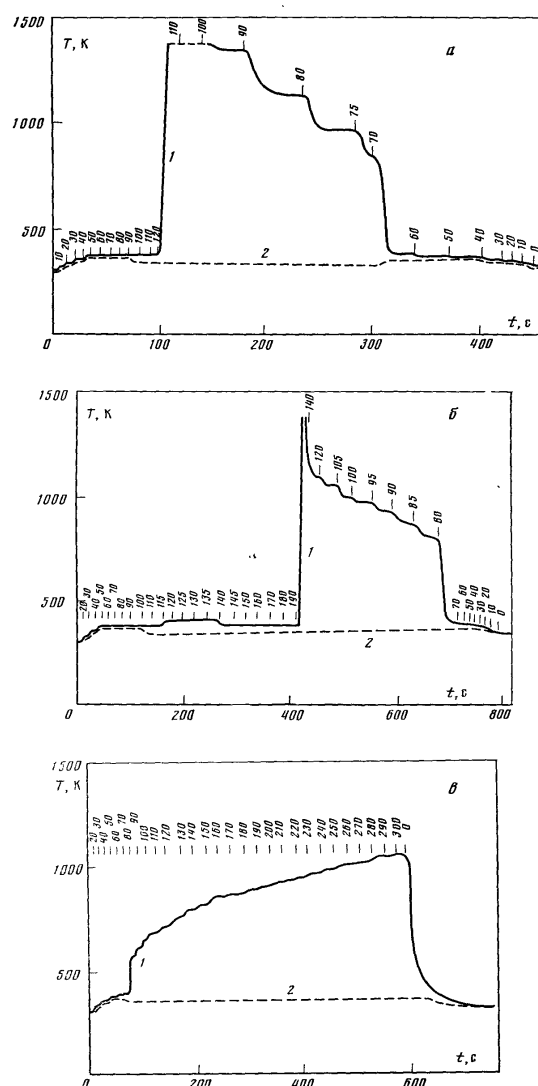


Рисунок 2 – Вольт-температурные характеристики

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

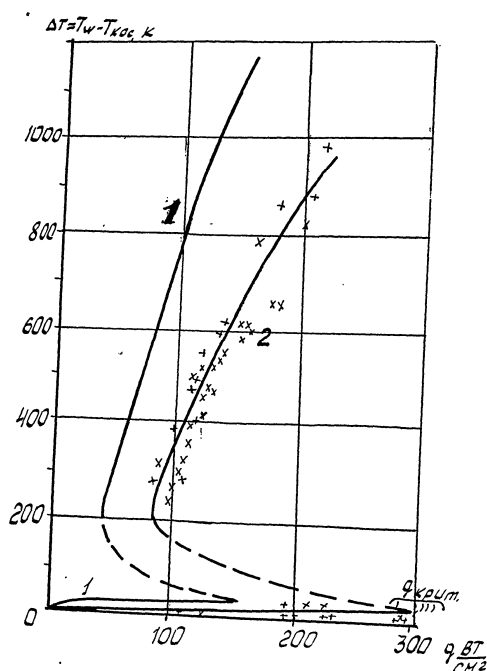


Рисунок 3 – Сравнение характеристик

Предложенный механизм плазменно-электролитического нагрева позволяет объяснить основные явления и эффекты, сопровождающие его, в том числе и те, которые ранее объяснения не находили: наличие или отсутствие нагрева при стационарном разряде в зависимости от полярности электродов и состава электролита, скачкообразное и плавное изменение температуры нагрева, невозможность воспроизведения результатов.

Многообразие видов загрязнений, их удельная величина, требуемая степень очистки, технологическая оснащенность производства, экономические показатели приводят к одновременному существованию различных способов очистки, основные из которых:

- механические (абразивный, дробеструйный, галтовочный, шлифование, крацевание и т.д.);
- химические – с использованием растворов химических соединений, активно взаимодействующих с поверхностью: щелочи, кислоты, фосфаты, органические соединения;
- электрохимические – с применением тех же компонентов, но при подаче напряжения порядка 6-12 В;
- ультразвуковые – применяются те же компоненты с добавками поверхностно ак-

тивных веществ с наложением ультразвуковой частоты порядка 16-22 кГц;

- ионное – в атмосфере инертного газа или воздуха при давлении $10^{-1} - 10^{-2}$ мм. рт. столба. Разрядный ток – до 50 мА при напряжении до 10 кВ;

- электролитно-плазменный – в водных растворах различных соединений при $U = 100-150$ В.

Существенным для зонного нагрева в электролитной плазме и закалке является выбор конструкции нагревательного устройства и устройства для закалки.

Учитывая приемлемое качество, легкость автоматизации процесса, простоту обслуживания оборудования, а также низкие текущие затраты и высокую эффективность, электролитно-плазменную технологию термообработки режущего инструмента можно реализовать в условиях мобильных и стационарных ремонтных мастерских [2].

Прототипом передвижной ремонтной мастерской может послужить мастерская КИ-28016, смонтированная на базе автомобиля-фургона УАЗ-3741/2206/3962; ГАЗ-3307; ЗИЛ-5301; «Газель» и др.

Таким образом, разработанная нами технология обладает возможностью размещения у сельскохозяйственного потребителя, причем решен вопрос ее мобильного исполнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рютин, В. С. Анализ существующих электротехнологий поверхностной обработки деталей машин [Текст] / В. С. Рютин, Д. Д. Щербинин // Тезисы докладов VII межрегиональной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Рубцовск, 2005.
2. Плеханов, Г. В. Разработка мобильного сельскохозяйственного комплекса для механической и термической обработки инструмента и деталей машин [Текст] / Г.В. Плеханов, О. П. Балашов, К. Э. Коратаев, В. С. Рютин // Тезисы докладов VII межрегиональной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Рубцовск, 2005.

Рютин В. С., соискатель, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», АлтГТУ им. И.И. Ползунова,
E-mail: greggor23@yandex.ru;

Щербинин Д. Д., соискатель, АлтГТУ им. И.И. Ползунова.