

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ БОРИРОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИНСТРУМЕНТА

Г.В. Плеханов, Г.О. Сеницына

В работе рассмотрена возможность реализации электротехнологии борирования применительно к сельскохозяйственным деталям и инструментам. Поэтапно описан ход разработки данной технологии. Рассмотрены три варианта устройств для реализации электротехнологии.

Ключевые слова: борирование, электролит, диффузионный слой, гетерогенность электролита, водный раствор.

Из мировой практики известно, что режущие инструменты, применяемые в сельском хозяйстве, должны быть, прежде всего, износостойкими, прочными, обладать высокой теплостойкостью и коррозионной стойкостью. Данных свойств можно добиться, применяя лишь поверхностную химико-термическую обработку металлов, и наиболее приемлемыми и обеспечивающими данные требования являются процессы борирования. Но, несмотря на некоторые достигнутые успехи в области практической реализации этих процессов, до сих пор остаются нерешенными такие вопросы, как токсичность газов, образующихся при проведении процесса, и нейтрализация отходов. Сами по себе данные технологии способны увеличить срок службы режущего инструмента в несколько раз, и, обладая необходимыми экологическими показателями и высокой мобильностью, могут размещаться непосредственно на сельскохозяйственных участках, обеспечивая максимальную эффективность восстановления вышедшего из строя режущего инструмента. В соответствии с вышеизложенным, задача разработки технологии поверхностной химико-термической обработки режущего инструмента, обеспечивающей высокие эксплуатационные характеристики, является актуальной и своевременной.

Не секрет, что именно технологии определяют уровень развития цивилизации. Однако нарастающий энергетический и экологический кризисы планеты красноречиво свидетельствуют об их несовершенстве, причем, практически во всех сферах техники.

Особенно необходим прогресс и радикальное совершенствование именно энергетических технологий получения и потребления электроэнергии. Потому что без электроэнергетики и без теплоэнергетики существование цивилизации пока вообще немыслимо.

Но именно эти важнейшие технологии цивилизации пока энергетически и экологически несовершенны. Так, коэффициент полезного действия (к.п.д.) современной тепловой машины не более 25-30 %, к.п.д. большинства электромагнитных и электромеханических преобразователей на самые распространенные мощности от нескольких сотен ватт до нескольких киловатт пока не более 50-70 %, а к.п.д. электрической лампы накаливания вообще порядка 5 %. При этом следует подчеркнуть, что электротехнологии входят в качестве составной части практически во все известные технологии. Однако пока многие электротехнологии весьма энергоемки и экологически несовершенны.

Причина этого энергетического несовершенства состоит в том, что в основе большинства электротехнологий получения, преобразования и потребления электроэнергии положено именно электромагнитное преобразование энергии.

В электротехнологиях используются электромагнитные и электромеханические индукционные преобразователи. Как известно, согласно законов Ома и Джоуля-Ленца, потери электроэнергии во всех электротехнологиях с использованием индуктивных преобразователей энергии зависят линейно от величины омических сопротивлений и квадратично от величины тока этих преобразователей энергии, и переходят в тепловые потери. В ряде электротехнологий, конечно, тепловые омические потери полезны, например, в различных электронагревателях, однако в большинстве технологий они вредны. Выходом по радикальному совершенствованию электротехнологий является иное силовое электромеханическое преобразование энергии, прямое преобразование потенциальной энергии электрического поля в механическую работу. Данный метод позволяет

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ БОРИРОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИНСТРУМЕНТА

осуществить полезное использование энергии электрических полей посредством силового (кулоновского) воздействия электрического поля на различные вещества и материалы практически без потерь электроэнергии. Именно данная новая концепция и развивается в предлагаемых новых электротехнологиях.

Все электротехнологии, используемые в мировой практике, можно разделить на 6 основных групп. Авторами были проанализированы следующие энергосберегающие новые электротехнологии с использованием электрических полей.

1. Электроогневые энергосберегающие технологии чистого горения. Данные технологии основаны на открытых явлениях интенсификации горения любых веществ в сильных электрических полях:

а) технологии чистого горения любых горючих веществ для любых огневых технологий, включая сжигание отходов;

б) электроогневая экологическая очистка любых токсичных газов.

2. Кулоновская энергосберегающая силовая униполярная энергетика с преобразованием потенциальной энергии электрического поля в механическую работу кулоновского перемещения слабопроводящих сред.

Открыто и теоретически обосновано новое явление интенсивного массопереноса слабопроводящих униполярно-заряженных сред, например, жидкостей в сильном электрическом поле с аномально низкими электрическими затратами энергии. Технология основана на силовом кулоновском взаимодействии внешнего электрического поля с электрическим полем униполярно-заряженных сред и позволяет создать высокоэффективные энергосберегающие насосы и гидравлические моторы нового поколения.

3. Новая эффективная энергосберегающая электротехнология электрокапиллярной диссоциации жидкостей с преобразованием их посредством электрического поля в топливные газы.

Открыты новые электрофизические явления интенсивного «холодного» испарения и диссоциации слабопроводящих жидкостей в электрическом поле и на их основе предложена энергосберегающая технология получения топливных газов. Новая электротехнология весьма эффективна и актуальна для практического использования получением дешевого топливного газа, например для автотранспорта и теплоэнергетики.

4. Электротехнологии прямого преобразования тепловой энергии в иные виды энергии посредством сильных электрических полей.

Данные электрокалорические технологии основаны на открытых экспериментально новых физических эффектах направленного переноса тепловой энергии по вектору электрического поля и эффекте интенсивного охлаждения тел в сильных электрических полях:

а) электротехнология векторного управления потоками тепла и теплопроводностью в электрическом поле;

б) энергосберегающая электротехнология прямого охлаждения нагретых тел в сильных электрических полях.

Суть открытого в опытах нового физического электрокалорического эффекта состоит в эффекте интенсивного охлаждения тел в сильных электрических полях.

5. Новые энергосберегающие электротехнологии в сфере получения, преобразования и потребления электроэнергии, также основанные на ряде изобретений и экспериментальных открытий.

5.1 Новая электротехнология преобразования и экономии электроэнергии в электрических сетях и нагрузках.

Предложены способ и устройства преобразования и экономии электроэнергии путем естественно-принудительной циркуляции реактивных токов по фазам электрической индуктивной нагрузки; способы и бесконтактные пускорегулирующие электрические аппараты коммутации и преобразования энергии.

5.2 Электротехнологии получения и преобразования энергии на основе индуктивных электромагнитных и электромеханических преобразователей энергии.

Предложены и апробированы новые способы и устройства эффективного получения электроэнергии от оригинальных автономных энергоузлов на основе асинхронных вентильных генераторов. Они уже нашли применение в автономных системах электроснабжения, например в авиации, автотранспорте и ветроэнергетике и др.

5.3 Новейшая электротехнология преобразования скрытой потенциальной энергии электрического поля в кинетическую энергию механического движения.

Суть электротехнологии состоит в использовании потенциальной энергии взаимодействия электрических полей и силового кулоновского взаимодействия электрически заряженных тел для получения механической энергии. Запатентованы и апробированы

многочисленные устройства на ее основе (моторы, генераторы).

6. Новый метод и электротехнология извлечения полезной электроэнергии из возобновляемой энергии природного электричества и геоэлектрического и геомагнитного полей планеты.

Предложена и разработана новая феноменологическая теория электромеханики природных явлений – обоснована в практическом и научно-техническом аспектах принципиально новая «пионерская» электротехнология использования возобновляемой энергии геомагнитного и геоэлектрического полей Земли и околоземного электричества для получения дешевой электроэнергии в безтопливной орбитальной космонавтике, и снижения уровня и мощности аномальных разрушительных явлений природы.

В свою очередь, проведенный обзор исследований в области электролитно-плазменной обработки металлов показал, что особенности процесса применительно к очистке, закалке, ХТО изучены недостаточно. Многообразие взаимосвязанных факторов, влияющих на электролитно-плазменный разряд, приводит к большому разбросу получаемых результатов и характеристик. Наиболее значимыми для понимания механизма происходящих явлений являются характеристики электролитно-плазменной оболочки, механизм проводимости через данную оболочку, ее состав [1]. До настоящего времени нет единого мнения о проводимости парогазовой оболочки. Наиболее часто встречающиеся в литературе гипотезы предполагают, что:

- оболочка является диэлектрической и термоизоляционной, а проводимость осуществляется электрическим пробоем промежутка и носит импульсный характер;
- газовый промежуток обладает собственной проводимостью за счет наличия в нем паров легкоионизируемых элементов;
- первоначально разряд проходит в виде отдельных разрядов – стримеров, вызывающих ионизацию атомов, эмиссию электронов и, в дальнейшем, может проходить по всей площади слоя стабильно или в виде отдельных микрозарядов.

Помимо вышеперечисленного сама природа электрического разряда до сих пор не выяснена. Незначительные линейные размеры области, занятой разрядом, не позволяют провести точную диагностику плазмы, поэтому различные авторы приходят к выводу о развитии между электродами искрового, дугового, тлеющего разряда.

Борирование деталей применяется для повышения твердости, износа, тепло- и коррозионной стойкости поверхности, которые обеспечиваются высокой твердостью боридов железа, их химической стойкостью и напряжениями сжатия, достигающими в боридном слое значений 21-39 кг/мм² [2] из-за увеличения объема формирующихся структур.

При рассмотрении химизма процесса образования боридов высокая твердость, сохраняющаяся до высоких температур, и износостойкость объясняются высокими энергиями межатомного взаимодействия, что, в свою очередь, обеспечивается участием в образовании химической связи не только наружных, но и внутренних слоев. Формирование стабилизированных электронных конфигураций и увеличение их процентного содержания приводит к увеличению твердости, сопровождаемой повышенной хрупкостью слоя. Доказательством может служить тот факт, что легирование стали элементами, вызывающими меньший захват электронов (Cu, Zn, Al, Cr, Ni) позволяет уменьшить хрупкость боридного слоя.

Явление нагрева металлических электродов до высоких температур (вплоть до плавления) при пропускании электрического тока повышенной плотности через электролиты обнаружено еще в прошлом веке. Плавное увеличение напряжения на ванне сверх некоторого критического значения приводит сначала к бурному паро- и газовыделению на электроде меньшей площади, что сопровождается снижением средней силы тока. При дальнейшем повышении напряжения вокруг этого «активного» электрода образуется сплошная газовая оболочка, через которую течет стационарный электрический ток, т. е. происходит газовый разряд. Существование этого режима объяснено пленочным кипением жидкости [3, 4].

Произведя анализ литературных источников [1 – 2, 5 – 6] в качестве прототипа был рассмотрен состав электролита для борирования, содержащий углекислый калий, глицерин, карбид бора и воду при следующих соотношениях компонентов, вес %:

K_2CO_3	– 5-15
$C_3H_5(OH)_3$	– 40-60
B_4C	– 5-35
H_2O	– остальное (№ 1).

Основываясь на данных материалах и учитывая специфику отрасли нами был приготовлен электролит следующего состава:

K_2CO_3	– 8 %
$C_3H_5(OH)_3$	– 41%

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ БОРИРОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИНСТРУМЕНТА

B_4C – 10 %
 H_2O – 41 %.

В данном электролите произвели обработку образцов из армко-Fe, ст. 40 и 40Х. Режимы обработки и глубина диффузионного слоя представлены в таблице 1.

Таблица 1

Материал	Напряжение U , В	Сила тока I_1 , А	Температура нагрева T_H , °С	Глубина слоя, мм
40Х	200	6	900	0,02-0,05
40	200	7	900	0,08-0,12
Fe-армко	-	-	850	0,02-0,04

Анализируя результаты экспериментов был сделан вывод, что гетерогенность электролита не позволяет даже в лабораторных условиях получать стабильные результаты диффузионного насыщения, т. к. только при постоянной циркуляции электролита нерастворимый карбид бора поддерживается во взвешенном состоянии. При прекращении циркуляции карбид бора оседает на дно ванны плотным слоем и повторное равномерное распределение его затруднено. Исходя из того, что электролит, содержащий в своем составе только растворимые в воде компоненты, с технологической точки зрения является более приемлемым, была предпринята попытка разработать состав электролита с гомогенной борсодержащей средой. Задача усложняется тем обстоятельством, что большинство из известных соединений бора являются нерастворимыми, малорастворимыми или разлагаемыми водой [2].

Из наиболее распространенных и пригодных для данных целей соединениями являются борфтористый аммоний – NH_4BF_4 и тетраборнокислый натрий – $Na_2B_4O_7$.

Исследование насыщающей способности водных растворов данных солей не дало положительных результатов. Эксперименты проводились на образцах из ст. 40Х. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Электролит	Температура нагрева T_H , °С	Микротвердость поверхности, кг/мм ²
10% p-p NH_4BF_4	950	343-213
10% p-p NH_4BF_4	950	386-262
15% p-p $Na_2B_4O_7$	1000	306-186
8% NH_4BF_4 + 15% $Na_2B_4O_7$	950	-

Одной из причин отсутствия боридного слоя может являться весьма незначительное содержание бора в составе электролита, т. к. данные соединения обладают ограниченной растворимостью в воде.

Увеличение растворимости используемых соединений в глицерине дало возможность приготовить для дальнейших исследований электролиты следующих составов:

$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ – 30-40 %
 $C_3H_5(OH)_3$ – 30-35 %
 H_2O – остальное (№ 5).
 NH_4BF_4 – 15-20 %
 $C_3H_5(OH)_3$ – 35-45 %
 H_2O – остальное (№ 6).

Исследуемые электролиты обладают достаточной электропроводностью, характеризуются спокойным течением процесса и возможностью плавной регулировки температуры образцов.

Обращает на себя внимание тот факт, что проведение процесса сопровождалось появлением в зоне обработки пламени зеленого цвета, что может свидетельствовать о наличии в зоне разряда ионов бора, но при металлографическом анализе образцов из стали 40 были обнаружены цементационные слои глубиной до 0,13 мм, после обработки в электролите № 5 и до 0,1 мм – в электролите № 6, полученные за 5 мин. обработки. Бориды не выявлены ни в одном из исследуемых образцов.

Так как применение электролитов № 5, 6 не дало положительных результатов, было решено провести серию экспериментов с электролитом № 1, но с внесением карбида бора не в весь объем электролита, а только в активную зону. Для локализации карбида бора были разработаны и изготовлены три варианта устройств [7].

Вариант 1. Винипластовая втулка с просверленными боковыми отверстиями, перекрытыми капроновой сеткой, плотно закреплялись на верхней пластине ванны с отверстиями для подачи электролита.

Вариант 2. Металлическая втулка, служащая анодом, укреплялась ко дну ванны, и перекрывалась натянутой сеткой с отверстиями по центру для погружения обрабатываемого образца.

Вариант 3. Винипластовый каркас, выполненный в виде воронки с боковыми окнами, обтягивался сеткой, закрепленной в вершине конуса пластиной с рядом отверстий для направленной подачи струи электролита на сетку. Анодом служил корпус ванны, установленный на изоляторах.

Принцип действия разработанных устройств сводился к следующему: подаваемый снизу через отверстия дна электролит поддерживает во взвешенном состоянии засыпаемый в определенном количестве – 100 г В4С и доставляет его к поверхности обрабатываемой детали. Циркулируемый электролит проходит через капроновую сетку, карбид бора остается в зоне обработки.

При проведении экспериментов было установлено, что электролит № 1 из-за повышенной вязкости недостаточно интенсивно циркулирует через сетку, сменность электролита становится недостаточной для стабильного проведения процесса.

С целью снижения вязкости электролита и для осуществления процесса борирования в разработанных устройствах был приготовлен электролит № 7, в состав которого входили 10 % карбида бора и 10 % KCl для получения необходимой электропроводности.

Циркуляция электролита в устройствах 2 и 3 осуществлялась в необходимых пределах, но в устройстве 1, увлекаемый током электролита карбид бора оседал на сетке и, перекрывая сливные отверстия, изменял во времени скорость циркуляции, не позволяя поддерживать заданный уровень электролита в рабочей зоне [3].

В устройстве 2 была проведена серия экспериментов, результаты которых сведены в таблицу 3.

Таблица 3

Сталь	U, В	I, А	Время, мин	Глубина слоя, мм	Твердость кг/мм ²
20	210	2	10	0,02-0,03	597-779
40X	120	4,5	10	0,02-0,04	694-836

Повышение твердости поверхности образцов, охлажденных на воздухе, свидетельствует о насыщении бором. При цветном травлении диффузионный слой окрашивается в светло-желтый цвет, свидетельствуя о незначительной концентрации бора в слое, что не позволило, очевидно, получить высокую твердость.

С целью интенсификации процесса борирования при использовании водных растворов и учитывая, что при исследовании насыщающей способности электролита № 4 было обнаружено поверхностное легирование, а применение устройств 2 и 3 для локализации карбида бора в зоне обработки дало

положительные результаты, следующая серия экспериментов была проведена в электролите № 8:

NH ₄ BF ₄	– 8-10 %
Na ₂ B ₄ O ₇	– 10-15 %
B ₄ C	– 10 %
H ₂ O	– остальное.

Анализируя полученные результаты можно заключить, что увеличение процентного содержания бора приводит к повышению насыщающей способности электролита. Тем не менее, данное заключение может иметь лишь ограниченное значение, так как механизм образования активных атомов диффундирующего вещества из химического соединения в условиях электролитной плазмы в большинстве случаев остается невыясненным [8]. Но исходя из имеющихся опытных данных можно заключить, что если элемент состоит из водного раствора одного соединения, то элемент, входящий в состав кислородосодержащего аниона, не выделяется в свободном виде или не обладает диффундирующей способностью. Исходя из последних данных механизм формирования боридного слоя при описанных выше условиях можно представить следующим образом: непосредственное взаимодействие активизированных разрядов ионов бора с поверхностью обрабатываемого металла происходит только в первые секунды обработки, создавая определенную концентрацию бора в поверхностном слое металла [9]. Образовавшаяся в дальнейшем пленка препятствует достижению поверхности активного бора, но имея собственный определенный боридный потенциал обеспечивает рассасывание поверхностного бора вглубь металла [10]. Учитывая, что бор диффундирует только в направлении, перпендикулярном поверхности, и действию разряда за короткий промежуток времени подвергалась не вся поверхность, то оставшиеся микроучастки обтекаются диффузионным потоком [11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Терентьев, С.Д. Исследование вольтамперной характеристики электролитно-плазменного разряда [Текст] / С. Д. Терентьев, Г. В. Плеханов // Вузовская наука в современном мире: тезисы докладов международной научно-технической конференции. – Рубцовск, 1999. – С. 118-119.
2. Терентьев, С.Д. Исследование «аномального» электролиза в растворах солей и его практическая реализация [Текст] / С. Д. Терентьев, Г. В. Плеханов // Тезисы докладов научно-технической конференции студентов и аспирантов. – Рубцовск, 1998. – С. 88-90.

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ БОРИРОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИНСТРУМЕНТА

3. Терентьев, С.Д. Перспективы электролитно-плазменной обработки металлов [Текст] / С.Д. Терентьев, Г.В. Плеханов, В.Г. Плеханов // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири : тезисы докладов 6-й международной научно-практической конференции. – Тюмень, 2000. – С. 63-64.

4. Плеханов, В.Г. Разработка новых технологий обработки металлов в электролитной плазме [Текст] / В. Г. Плеханов, С. Д. Терентьев, Г. В. Плеханов, С. О. Хомутов // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири: тезисы докладов 7-й международной научно-практической конференции. – Барнаул, 2001. – С. 152-153.

5. Терентьев, С.Д. Обработка деталей машин в электролитной плазме [Текст] / С. Д. Терентьев, Г. В. Плеханов // Труды Рубцовского индустриального института. – Рубцовск, 1997. – С. 130-131.

6. Терентьев, С.Д. Термообработка шестерен в электролитной плазме [Текст] / С. Д. Терентьев, Д. А. Титтель, Г. В. Плеханов // Вузовская наука в современном мире : тезисы докладов международной научно-технической конференции. – Рубцовск, 1999. – С. 77-79.

7. Плеханов, Г.В. Исследование явления кипения жидкости в сильных электрических полях [Текст] / Г. В. Плеханов, В. И. Крашенинин // Труды Рубцовского индустриального института. – Рубцовск, 2001. – С. 146-150.

8. Плеханов, Г.В. Исследование аномального электролиза в растворах солей и его практическая реализация [Текст] / Г. В. Плеханов, С.Д. Терентьев // Материалы межвузовской научно-практической конференции. – Бийск, -1999. – С. 82-83.

9. Плеханов, Г.В. Борирование режущего инструмента с помощью электролитной плазмы [Текст] / Г. В. Плеханов // Тезисы докладов IV международной научно-технической конференции. – Рубцовск, 2002. – С. 135-137.

10. Хомутов, О.И. Исследование электролитно-плазменного процесса [Текст] / О. И. Хомутов, Г. В. Плеханов, С. Д. Терентьев, С. О. Хомутов // Ползуновский альманах. – № 1-2. – 2001. – С. 10-19.

11. Плеханов, В.Г. К вычислению эффективного коэффициента диффузии в двухфазных регуляторных слоистых структурах [Текст] / В. Г. Плеханов, Г. В. Плеханов // Труды Рубцовского индустриального института. – Рубцовск, 1997. – С. 70-77.

Плеханов Г.В., к.т.н., доцент, кафедра «Электроэнергетики», Рубцовский индустриальный институт (филиал) АлтГТУ им. И.И. Ползунова, (г. Рубцовск), тел.: 8(38557) 49-6-11, E-mail: greggor23@yandex.ru;

Синицына Г. О., соискатель, аспирант, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», АлтГТУ им. И. И. Ползунова, (г. Барнаул), E-mail: sinichka@mail.ru