

## ПРОЦЕССЫ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ В ЭНЕРГОВЫДЕЛЯЮЩИХ СРЕДАХ

*Электрдик учкун легирлөөнүн процесстердеги учкун разряддын зонасында энергиянын келишинин жана синируусунун маселеси каралды. Чөйрөнүн ажыроо энергиясынын салмагына баа берилди. Өз алдынча ажыроо энергиясынын жогорку көрсөткүчтөгү чөйрөнү колдонууда күтүлүүчү эффекттер аныкталган.*

*Рассмотрен вопрос поступления и поглощения энергии в зоне искрового разряда, при процессах электроискрового легирования. Дана оценка вклада энергии разложения среды. Определены ожидаемые эффекты при применении среды с высокими показателями энергии самопроизвольного распада.*

*The question of energy introducing and adsorption in spark discharge zone was considered during processes of electrospark inclusion. Medium destruction energy's contribution was estimated. Expected effects at using of medium with high indices of self-arbitrary destruction energy were determined.*

Электроискровая обработка часто применяется в промышленности для размерной обработки и легирования металлов и сплавов. Обзор литературы [1,2] показывает, что электроискровые способы упрочнения инструмента и деталей машин давно известны и широко применяются в промышленности. На практике распространено легирование в газообразных и жидких средах. Свойства легированной поверхности и состав продуктов зависят от материала электродов и окружающей место искрового пробоя среды. Параметры искрового разряда также влияют на степень и глубину проникновения материала электрода-инструмента и продуктов реакций в материал обрабатываемой детали.

Цель данной работы – выяснить, как влияет на процесс электроискрового легирования наличие в разрядном промежутке вещества склонного к разложению с выделением энергии.

До настоящего времени не рассматривался вопрос влияния энергии разложения среды на процессы электроискрового легирования. Нет количественной оценки вклада энергии разложения для сред склонных к химическому распаду с высокими показателями выделения энергии. Авторами поставлена задача, провести анализ электроискровых процессов при использовании в качестве электроэрозионной среды неустойчивых энерговыделяющих сред. Для решения поставленной задачи необходимо рассмотреть вопрос поступления энергии в зону искрового разряда с точки зрения инициирования разложения рабочего вещества среды.

С целью выяснения влияния энергии разложения среды на процесс электроискрового легирования проведём анализ распределения энергии искрового разряда во времени. Для этого дадим описание процесса электроискрового легирования с учетом действия всех факторов искрового разряда на эрозионные среды, разлагающиеся с большим тепловым эффектом.

Основная часть энергии уходит на термодеструкцию среды в канале [3], нагрев продуктов и ионизацию атомов. Металл в области воздействия электронного пучка нагревается, часть его расплавляется, около 5% расплавленного металла достигает температуры кипения и может перейти в газообразное состояние. Переход металла в парообразное состояние сдерживается высоким давлением в зоне разряда. Энергия искрового разряда, поглощенная металлом анода при процессах электроискровой эрозии и электроискрового легирования, составляет основную долю выделившейся энергии в момент прохождения единичного импульса. Для простейшей установки с емкостным накопителем энергии общая энергия разряда определяется известной формулой  $E=CU^2/2$  и может быть точно задана (рис1). Изменение энергии единичного электрического

импульсного разряда можно варьировать, меняя как напряжение (U) так и емкость конденсатора (C).

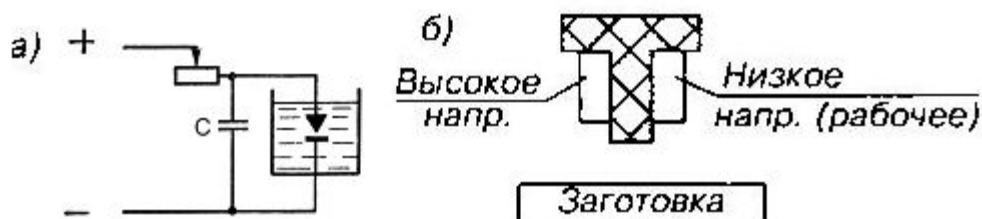


Рис.1. а) Схема установки RC типа для легирования в жидких средах

б) схема бесконтактного легирования и инициирование разряда высоковольтным импульсом.

Эта энергия при первичном процессе распределяется для каждого конкретного случая по формуле  $E_{разр} = E_{искр} + E_{тепл}$

Когда разряд заканчивается его энергия распределяется между всеми участниками - процесса анодом, катодом и окружающей эрозионной средой. Вторичные процессы приводят к установлению термодинамического равновесия и характеризуются переносом вещества анода и катода и химическими реакциями, проходящими в электроэрозионной среде. Продукты взаимодействия могут внедряться в легируемую поверхность.

Ударная волна несет с собой энергию, которая может активировать процессы разложения нестойких веществ, входящих в состав рабочей среды. Если эти вещества разлагаются с выделением энергии на более простые химические соединения с выделением газообразных продуктов, то в зоне находящейся на значительном удалении от канала разряда будет образовываться дополнительная область высокого давления. Следующим этапом является выброс металла из расплавленной зоны анода и перенос металла катода за счет катодного распыления и взаимодействие металла с продуктами разложения среды. Обычно химическое взаимодействие металла идет с образованием карбидов, нитридов, оксидов и других соединений. Время контакта и поверхность капель металла определяют степень превращения в данные соединения. Такие реакции идут с достаточным тепловым эффектом и являются источником дополнительной энергии в зоне легирования. Далее идут процессы охлаждения и закалки поверхности легируемого материала.

Дополнительное выделение энергии в зоне искрового разряда и вокруг его позволят удерживать исходные вещества и продукты в зоне высокого давления, благодаря чему реакции идут более полно, разбрасывание капель металла уменьшается и легирование идет с большим выходом.

Проведя серию экспериментов на титановом образце при различных напряжениях и емкостях накопительного конденсатора выяснено, что при увеличении энергии разряда размер лунок увеличивается. Для примера приводим фотографии результата воздействия разряда в воздухе титановым анодом на титановый образец при напряжении 300 вольт и емкостях конденсатора 0.5; 1.0; 3.0; 4.0; 10.0 мкф (рис.2.).

Как видно из фотографий, лунки, оставляемые воздействием искры, возникающей при контакте анода с деталью, состоят из центральной части (темная) – место расплавления и испарения металла детали, и наружной (светлая) – продукты выброса расплавленного металла. Для выяснения вклада энергии разложения энергонасыщенной среды в зависимости от энергии разряда была рассчитана масса среды подверженной воздействию высоких температур. Цилиндрическая область с высотой 10мкм и диаметром соответствующим зоне воздействия разряда определяет объем разложившейся среды.

На основе данных действия разряда одинаковой энергии, при различных напряжениях на накопительном конденсаторе и приняв значение энергии разложения среды  $6800 \text{ Кдж/дм}^3$ ,

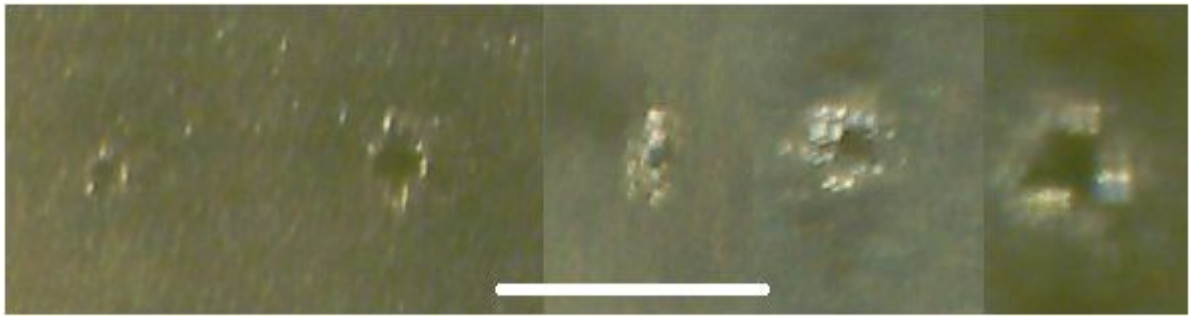


Рис.2. Воздействие низковольтного электроискрового разряда на титановый образец. Электрод инструмент- титан. Среда – воздух. 300 вольт . C= 0.5; 1.0; 3.0; 4.0; 10.0 мкф (белая полоска равна 1мм в длину).

Проведены вычисления процентного отношения энергии разложения к энергии разряда (рис.3.). Расчет процентного вклада энергии разложения проводилось по формуле:

$$\Delta E\% = \frac{E_{уд.разл.} * h * \frac{\pi d^2}{4}}{E_{разряда}} * 100\%$$

Где E уд.разл. – удельная энергия разложения энергоемкой среды (мдж/мм<sup>3</sup>), h- расстояние между электродами в момент разряда (мм), d - диаметр образующейся лунки (мм), E разряда – энергия электрического разряда.

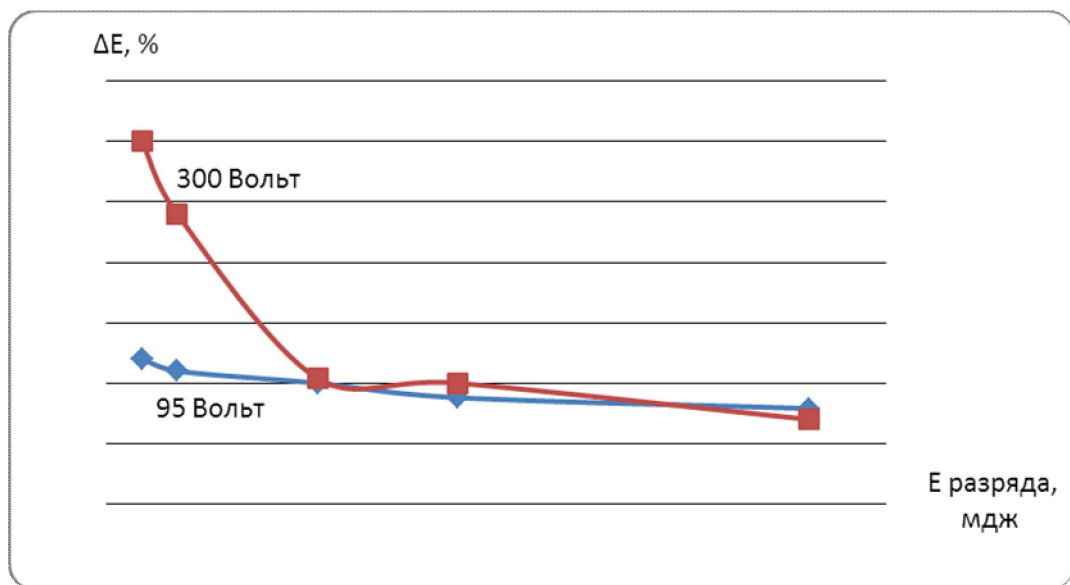


Рис.3. График зависимости процентного вклада энергии разложения среды в зоне разряда от энергии единичного импульса при различных напряжениях на накопительном конденсаторе.

Как видно из графика, наибольший вклад энергии разложения среды наблюдается при малых энергиях электрического импульса. Это объясняется увеличением отношения внешней среднетемпературной зоны к центральной, высокотемпературной, при уменьшении энергии разряда. При понижении напряжения на разрядном конденсаторе происходит сглаживание разницы процентного вклада энергии разложения среды при общем уменьшении его от трех до одного процента. Можно сделать вывод, что при применении энергонасыщенных сред легирование наиболее рационально вести при малых значениях энергии разряда, для максимального использования энергии разложения. При увеличении расстояния до 100мкм процентный вклад энергии разложения может достигать значений 10-30%.

Существуют целые классы соединений, которые могли бы применяться как энерговыделяющие. Наиболее яркими представителями этих веществ являются нитроглицерин, тринитротолуол (ТНТ) и др., существует много более и менее опасных в обращении соединений или смесей и растворов окислителей с восстановителями. Основное условие для выбора рабочей детонирующей среды это возможность применения её в жидком или расплавленном виде. В качестве модельного вещества был выбран тротил, который плавится при температуре  $81^{\circ}\text{C}$  и достаточно устойчив до  $150^{\circ}\text{C}$  длительное время. Он обладает очень низкой чувствительностью для того чтобы искровой пробой мог инициировать распространение детонации по всему слою расплава ТНТ нанесенного на легируемую поверхность [4].

В качестве легируемой поверхности был выбран титан в связи с его способностью при высоких температурах достаточно активно взаимодействовать с продуктами разложения рабочей среды с образованием карбидов, оксидов и нитридов. В качестве анодов использовались тугоплавкие вольфрам, тантал, ниобий и легкоплавкие медь и алюминий.

Для сравнения воздействия детонирующей среды на процессы легирования был применён метод исследования лунок образующихся под воздействием единичного импульса искрового разряда различной интенсивности. В качестве рабочей среды применен расплав ТНТ при температуре  $100^{\circ}\text{C}$ , средой сравнения являлся воздух.

Параметры искровой установки выбраны следующие: рабочее напряжение варьируется от 60 до 300 вольт, емкость разрядного конденсатора 2 мкФ, ток холостого хода 60 мА. Результаты эксперимента представлены в виде графиков (рис.4,5).

Видно (рис.4.), что наиболее тугоплавкий анод на воздухе дает наименьшие размеры кратеров лунок образуемых разрядом на легируемой поверхности титана. Легкоплавкий алюминий образует лунки большего размера. В целом при повышении энергии разрядного импульса есть тенденция увеличения диаметра кратера образующихся лунок. Другая картина наблюдается при проведении процесса в расплаве тринитротолуола (рис.5). Размер лунок у легкоплавкого алюминия в целом уменьшается, сохраняя тенденцию к монотонному росту при увеличении энергии разряда. От тугоплавких анодов - вольфрама и тантала размер кратеров лунок оставленных электроискровым разрядом на титановом катоде увеличивается при рабочих напряжениях 250-300 вольт.

По-видимому, это объясняется сжимающим давлением образующихся газов при детонации близлежащих слоев ТНТ в области электроискрового разряда. На мягкий и легкоплавкий алюминий детонация оказывает сжимающий и отталкивающий электрод эффект, а на твердом и тугоплавком вольфраме детонация сказывается меньше и эффект воздействия давления детонации переносится на титановую подложку. Похожие эффекты, но в меньшей мере проявились на анодах из тугоплавких тантала и ниобия и на легкоплавком медном аноде.

В процессе легирования была замечена ещё одна особенность. В отличие от легирования на воздухе, легирование в среде тротила не давало разбрызгивания металла, но рельеф поверхности был более грубым и ямки более глубокими. Эффект отсутствия разбрызгивания металла на легируемой поверхности можно объяснить давлением сжатия зоны искрового канала продуктами взрывного разложения тротила.

Выводы:

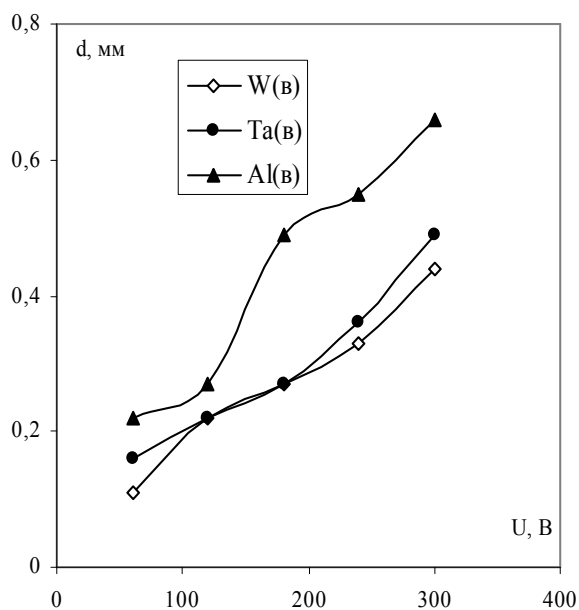


Рис.4. Зависимости диаметра кратера от напряжения легирования в воздухе для вольфрама, тантала и алюминия.

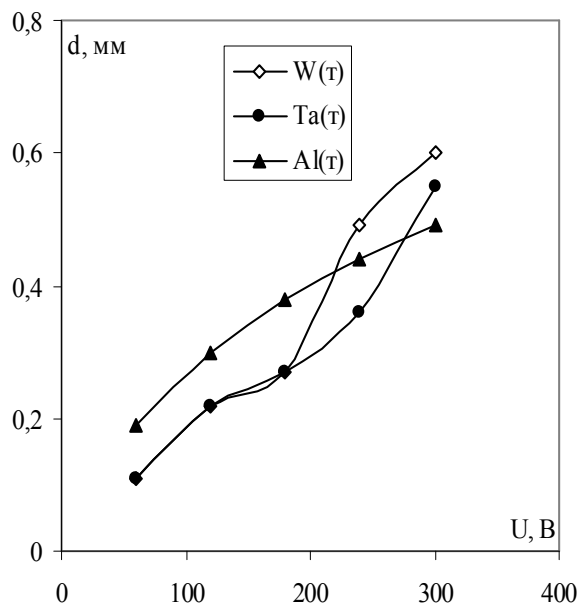


Рис.5. Зависимости диаметра кратера от напряжения легирования в тротиле для вольфрама, тантала и алюминия.

1. В результате проведенных исследований выяснено, что поставщиком энергии в зону электроискрового разряда может быть не только энергия разрядного контура, но и энергия разложения среды, и энергия взаимодействия электродов со средой;

2. В качестве среды для электроискрового легирования можно применять легкоплавкие мощные взрывчатые вещества, которые не разлагаются при температуре их плавления, например тринитротолуол;

3. Воздействие взрывного разложения среды сказывается на размере кратера, образованного искровым разрядом на подложке из титана при напряжении на разрядном конденсаторе больше 250-300 вольт и емкости 2 мкФ;

4. Применение анодов из тугоплавких W, Ta, Nb приводит к увеличению размера кратера, а для легкоплавких Cu, Al к уменьшению, относительно такого же воздействия в воздушной среде;

5. Применение энерговыделяющих сред в процессах искрового легирования уменьшает разбрызгивание металла вокруг кратера в зоне искрового разряда за счет сжимающего действия продуктов разложения;

6. Проведенная оценка энергии выделяющейся за счет среды с высокой энергией разложения дала значения порядка 1-3%, при особых случаях ведения процесса можно ожидать энергетического вклада до 10-30% от энергии разрядного импульса;

7. Ожидаемые эффекты при легировании в энергонасыщенных средах – это увеличение степени превращения материала электродов в химические соединения и увеличение степени легирования при малых энергиях разряда.

#### **Список литературы**

1. Самсонов Г.В., Верхотуров А.Д., Бовкун Г.А., Сычев В.С. Электроискровое легирование металлических поверхностей. Киев «Наукова думка», 1976г.,- 220с.

2. Иванов Г.П. Технология электроискрового упрочнения инструментов и деталей машин.-М.: Машгиз, 1961.-304с.

3. Задиранов А.Н, Грузд Н.С., В.В.Виноградов. Энергораспределение в процессах электроискрового легирования. Известия НАН КР, 2011г.№2.,с.49-54.

4. Юхансон К, Персон П., Детонация взрывчатых веществ. «МИР» Москва, 1973г.52.