

# СПОСОБ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ

Исхаков Р.И.

*Исхаков Руслан Ирекович – инженер, специалист по информационно-измерительной технике и технологиям, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа*

**Аннотация:** в статье анализируется проблема высокопроизводительной обработки жаропрочных и тугоплавких материалов, применяемых в авиационной промышленности, и предлагается способ ее решения.

**Ключевые слова:** электроэрозионная обработка, интерметаллид, система управления, титан, жаропрочный сплав, карбидная пленка.

Развитие авиационной техники требует применения новых жаропрочных и тугоплавких материалов, таких как интерметаллидные, никель-хромовые и титановые сплавы.

Существует широкий круг технологических задач, решение которых, для данных материалов, возможно только за счет применения электроэрозионной обработки.

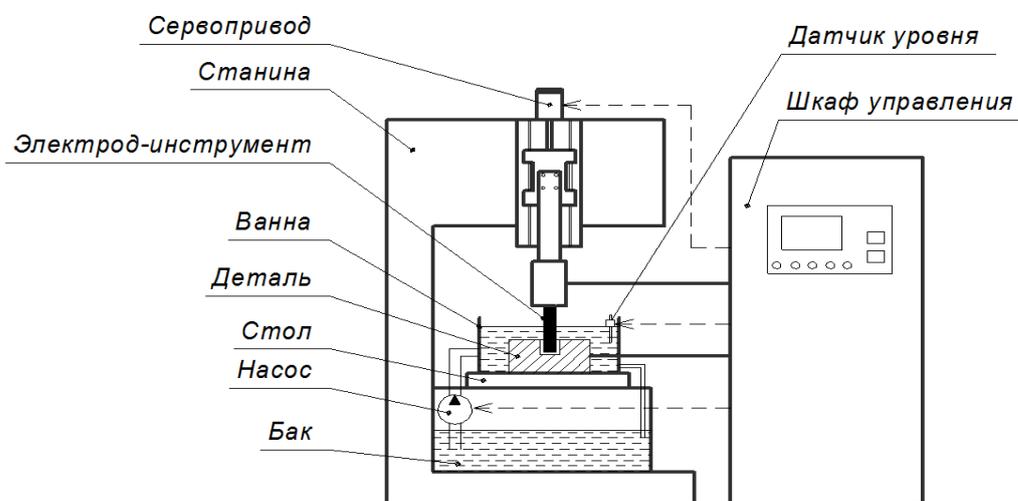


Рис. 1. Электроэрозионный копировально-прошивочный станок

Сущность электроэрозионной обработки заключается в изменении размеров, форм и шероховатости поверхности электропроводной заготовки (детали) под действием электрических разрядов [1, с. 2], возникающих между электродом-инструментом и электродом-заготовкой в жидкой диэлектрической среде (рабочей жидкости).

Электрические разряды необходимой величины и длительности формирует источник технологического тока (шкаф управления, рис. 1). А подачу электрода-инструмента и поддержание необходимого межэлектродного зазора осуществляет сервопривод, закрепленный на станине (рис. 1).

Но существующее электроэрозионное оборудование не позволяет обеспечить требуемую производительность и низкий износ электрода-инструмента. Во время электроэрозионной обработки, по мере углубления, происходит зашламливание межэлектродного промежутка продуктами эрозии. Из-за чего процесс обработки замедляется, количество пробоев диэлектрического слоя уменьшается, возникает локальный нагрев электрода-детали и электрода-заготовки, что влечет за собой чрезмерный износ электрода и прижоги на заготовке. А при обработке материалов из титана или интерметаллида, помимо зашламливания, происходит образование карбидной пленки (рис. 2) на поверхности материала, что еще сильнее замедляет электроэрозионный процесс из-за изменения диэлектрических свойств межэлектродного промежутка.

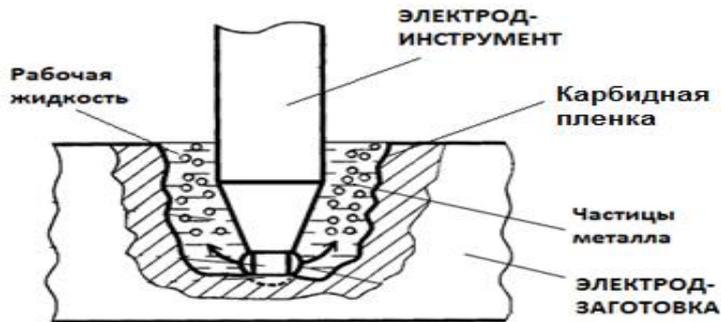


Рис. 2. Межэлектродный зазор при электроэрозионной обработке

Стандартный источник технологического тока воздействует на межэлектродный зазор 3 видами импульсов:

1. Рабочие силовые импульсы (рис.3б),
2. Поджигающие импульсы (рис.3б),
3. «Защитные» импульсы (рис.3г).

Эти импульсы могут следовать непрерывно, так и в пакетном режиме (Рис. 3в).

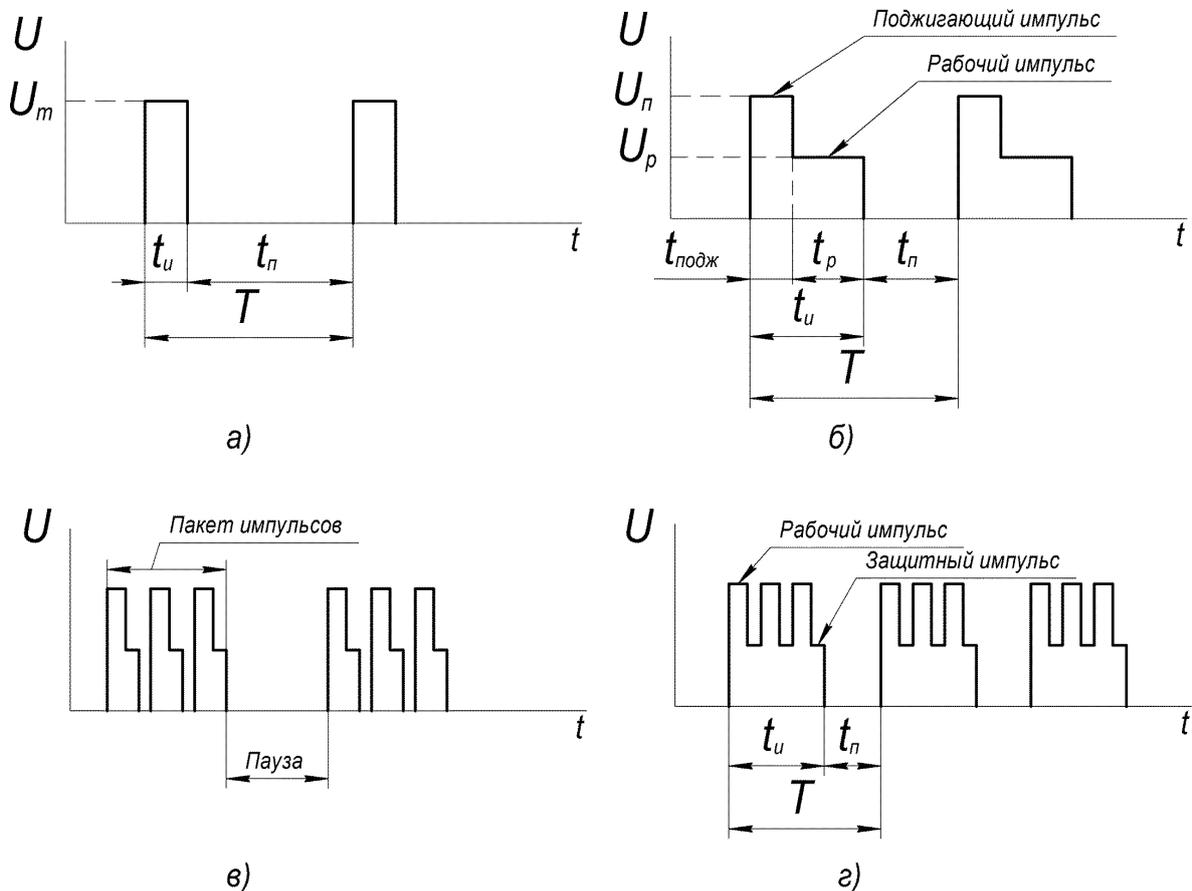


Рис. 3. Форма и параметры разрядных импульсов: идеальные прямоугольные импульсы (а); прямоугольные импульсы вместе с поджигающими (б); импульсы, идущие в пакетном режиме (в); «защитные» импульсы (г)

Поджигающие импульсы высокого напряжения (от 150 – 250В) необходимы для быстрой ионизации диэлектрической среды и ее пробоя. В момент пробоя рабочие силовые импульсы (~30В) осуществляют основной съем металла, который прямо пропорционален току импульсов. «Защитные» импульсы помогают предотвратить чрезмерный износ электрода-инструмента за счет образования «токового мостика» между рабочими импульсами. Однако вышеперечисленные типы импульсов не позволяют разрушить карбидную пленку и избавиться от зашламливания межэлектродного зазора.

Предлагаемый способ решения проблемы заключается в подаче дополнительного мощного кратковременного импульса (20 – 60 мкс) тока в начале пакета силовых рабочих импульсов. Мощный

импульс тока (70- 100А) позволяет удалить карбидную пленку, которая замедляет процесс электроэрозионной обработки (рис. 4).

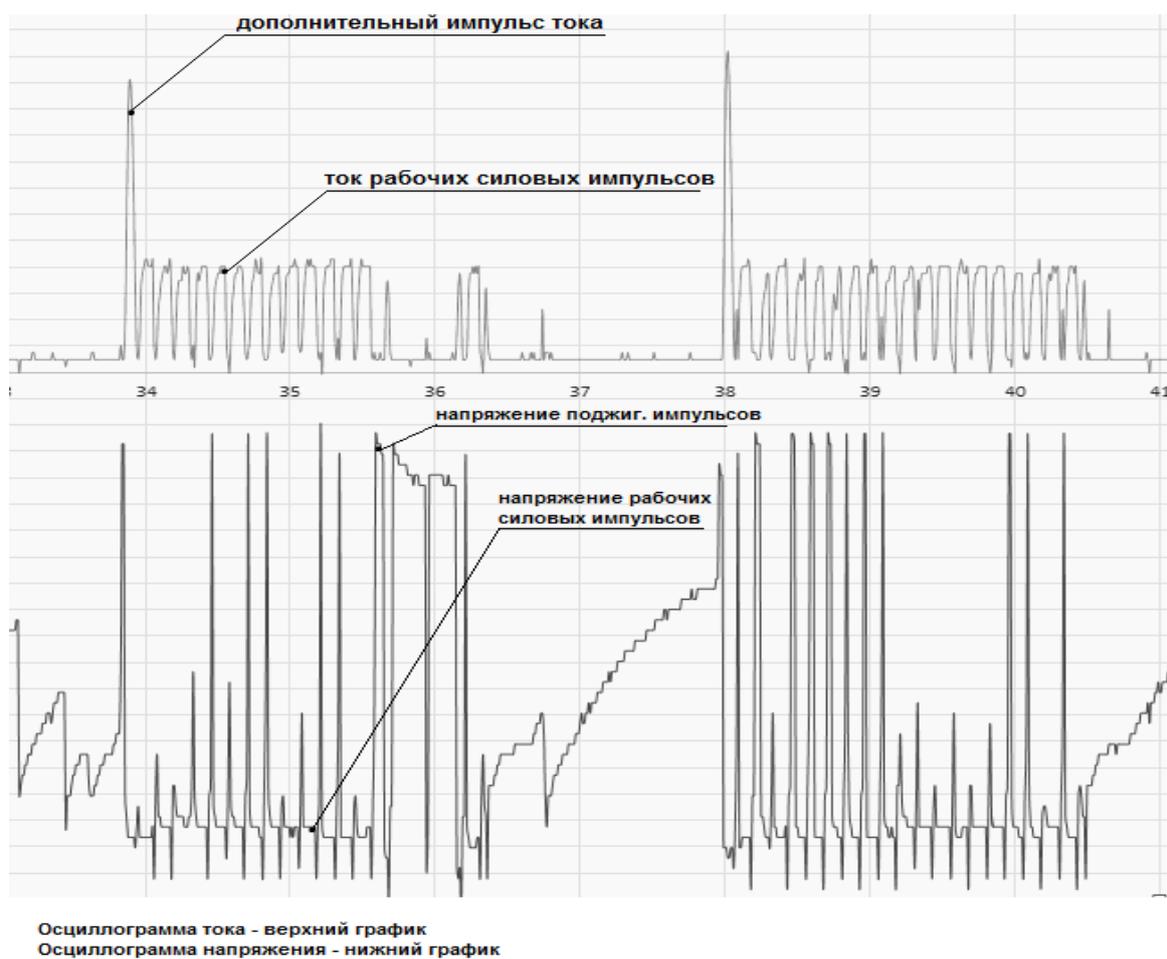


Рис. 4. Осциллограмма тока и напряжения

Энергия (E) вводимая в межэлектродный зазор дополнительным импульсом равна:

$$E = (C \cdot U^2) / 2 \text{ [Дж]} \quad (1)$$

C – емкость конденсатора, Ф

U – Напряжение на конденсаторе, В

Опытным путем было установлено, что для разрушения карбидной пленки необходима потенциальная энергия равная 0.054 Дж, при емкости конденсатора C = 30 мкФ и напряжении на обкладках конденсатора U = 60В.

В момент разряда конденсатора, ток ограничен только сопротивлением межэлектродного зазора, поэтому ток может достигать величины в 70А – 100А (рис.4). Так же важнейшим фактором, позволяющим разрушить эту пленку, является скорость изменения тока, т.е. с какой скоростью разряжается конденсатор.

Постоянная времени разряда конденсатора равна:

$$T = 3 \cdot R \cdot C \text{ [с]} \quad (2)$$

R – сопротивление в межэлектродном зазоре (величина не постоянная, зависит от текущего состояния диэлектрической среды), Ом

C – емкость конденсатора, Ф

Ток же поджигающих, «защитных» и рабочих силовых импульсов (рис.4), ограничен силовыми резисторами при этом постоянная времени разряда конденсатора значительно увеличивается, что резко уменьшает скорость изменения тока.

$$T_2 = 3 \cdot (R + R_{огр}) \cdot C, \quad (3)$$

где R<sub>огр</sub> – сопротивление токоограничительных резисторов.

Поэтому данные типы импульсов не могут пробить карбидную пленку - в отличие от дополнительного мощного импульса, где токоограничивающий резистор отсутствует.

Новый вид импульса является строго вспомогательным и его нельзя использовать в качестве основного - для съема металла, т.к. это приведет к сильной разбивке отверстий, износу электрода и возникновению дуги.

Описанный способ удаления карбидной пленки, возникающей при электроэрозионной обработке титановых, интерметаллидных и других жаропрочных сплавов реализован в опытном образце системы управления источником технологического тока.

Результаты сравнительных испытаний новой и старой систем приведены на рисунке 5.

Испытания проводились на следующих технологических параметрах:

*Частота следования рабочих и поджигающих импульсов – 46 кГц,*

*Скважность рабочих и поджигающих импульсов – 1,8,*

*Ток рабочих импульсов – 30А,*

*Ток поджигающих импульсов – 3А,*

*Ток защитных импульсов – 0А,*

*Длительность пакета импульсов – 1200 мкс,*

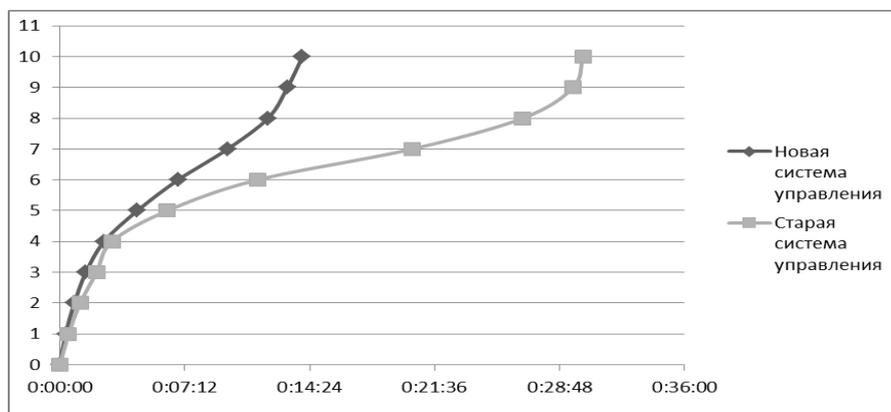
*Длительность паузы импульсов – 1700 мкс,*

*Напряжение на МЭЗ – 150В.*

*Материал электрода-заготовки – ВТ6 (Титан).*

*Материал электрода-инструмента – медь (15 электродов, диаметром 1мм)*

*Глубина обработки – 10 мм.*



*Рис. 5. Сравнение производительности электроэрозионной обработки*

Из графика (Рис. 5) видно, что производительность новой системы управления выше более чем в 2 раза – время обработки составило 13 мин 59 с, против 30 мин 09 с у старой системы.

На начальном этапе - до 5 мм (вертикальная ось, рис. 5), скорости систем примерно равны. На втором этапе – от 5 до 9 мм, происходит зашламливание межэлектродного промежутка продуктами эрозии, образуется карбидная пленка. Но новая система управления демонстрирует более высокую скорость обработки из-за наличия дополнительного импульса тока, разрушающий данную пленку. На завершающем этапе – от 9 до 10 мм, скорости сравниваются, это обусловлено выходом электродов из заготовки.

#### **Заключение**

Разработка авиационных двигателей пятого поколения требует применения более жаропрочных и тугоплавких материалов. Но существующее оборудование не позволяет добиться требуемой производительности обработки. Проанализировав проблему и выяснив причину ее возникновения, мною был предложен способ значительного повышения производительности электроэрозионной обработки вышеперечисленных материалов. Надеюсь, что этот способ поможет нашей авиационной промышленности достичь новых высот.

*Данная НИР была проведена при поддержке «Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (Фонд содействия инновациям).*

#### **Список литературы**

1. ГОСТ 25331-82. Обработка электроэрозионная. Термины и определения. Москва: Государственный комитет СССР по стандартам, 1982. 11 с.