

Сарилов М. Ю., Решетник У. Е.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В МЕЖЭЛЕКТРОДНОМ ПРОМЕЖУТКЕ ПРИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКЕ АЛЮМИНИЕВЫХ И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Сарилов М. Ю., Решетник У. Е.

M. Yu. Sarilov, U. E. Reshetnik

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В МЕЖЭЛЕКТРОДНОМ ПРОМЕЖУТКЕ ПРИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКЕ АЛЮМИНИЕВЫХ И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

RESEARCH OF PROCESSES IN THE INTERELECTRON SPAN AT ELECTROEROSION TREATMENT OF ALUMINUM AND TITANIUM ALLOYS

Сарилов Михаил Юрьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой машин и аппаратов химических производств Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: sarilov@knastu.ru.

Mr. Mikhail Yu. Sarilov – Doctor of Technical Sciences, Professor, head of the Department of machines and apparatus of chemical production, Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk territory, Komsomolsk-on-Amur, 27 Lenin str. E-mail: sarilov@knastu.ru.

Решетник Ульяна Евгеньевна – студентка кафедры машин и аппаратов химических производств Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: reshetnik94@gmail.com.

Mrs. Uliana E. Reshetnik – student of the Department of machines and apparatuses of chemical productions, Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk territory, Komsomolsk-on-Amur, 27 Lenin str. E-mail: reshetnik94@gmail.com.

Аннотация. В статье представлено исследование процессов электроэрозионной обработки (ЭЭО) в межэлектродном промежутке. Рассмотрены особенности электроэрозионной обработки алюминиевых и титановых сплавов. Выдвинута гипотеза о возможном возникновении оксидных образований («усов») при обработке алюминиевых и титановых сплавов и их влиянии на процесс обработки. Экспериментальными исследованиями доказана возможность появления нитевидных образований при электроэрозионной обработке алюминиевых сплавов и их влиянии на точность и эффективность обработки. В отношении титановых сплавов гипотеза не подтвердилась.

Summary. The article presents a study of the processes of electroerosive processing in the electrode gap. The features are considered at electroerosive processing of aluminum and titanium alloys. A hypothesis has been put forward about the possible occurrence of oxide formations («whiskers») in the processing of aluminum and titanium alloys and their influence on the treatment process. Experimental studies have shown the possibility of formation of filamentous formations during the EDM treatment of aluminum alloys and their influence on the accuracy and efficiency of processing. For titanium alloys, the hypothesis was not confirmed.

Ключевые слова: электроэрозионная обработка, сплавы, межэлектродный промежуток, оксидные «усы».

Key words: electroerosive treatment, alloys, interelectrode gap, oxide whiskers.

УДК 621.9.048

Введение

Эрозия – это длительный процесс, при котором происходит разрушение поверхностного слоя материала из-за воздействия внешних факторов. Если на поверхностный слой металла воздействует электрический ток, то эрозию принято называть электрической. А если на металл применить непосредственное действие коротких электрических разрядов, то такая обработка называется электроэрозионной. В этом процессе воздействие происходит между электродами, то есть один электрод представляет собой саму деталь, а второй – электрод-инструмент [1].

Электроэрозионная обработка применяется во многих отраслях промышленности: станко-, судо-, вертолёт-, самолётостроении и т. д. Однако наибольшее признание на сегодняшний день ЭЭО получила в области машиностроения – в производстве двигателей и прогрессивном самолётостроении. Уровень качества двигателя требует применения усложнённых элементов конструкции, с чем может справиться только электроэрозионная обработка, ведь этот процесс можно применять, если обрабатываемая поверхность размещена в труднодоступных местах для другого вида резания [2].

Производительность с помощью данного метода повысится из-за регулирования параметров обработки, то есть подачи импульсов между электродами с высокой частотой при том же значении энергии импульса, из-за чего обработка улучшит свои качества за счёт влияния уменьшенного расстояния между электродами при снижении энергии для подобранных нами сплавов.

Гипотеза

С помощью проведённых нами исследований мы сделали вывод о том, что алюминий обладает следующими параметрами: 1) повышенной химической активностью; 2) повышенной теплопроводностью; 3) пониженной теплоёмкостью; 4) тугоплавкостью.

Из этих параметров следует, что при обработке данного материала выбранным нами методом могут появиться «усы», которые представляют собой токопроводящие оксидные образования алюминия, полученные из расплавленного и выброшенного материала из лунки. Это доказывает то, что величина между двумя электродами сокращается и растёт количество импульсов, усиливается процесс эрозии и повышается температура электродов, хотя режим обработки является константой.

Гипотеза может рассматриваться не только с позиции алюминия, но и титана, ведь этот материал имеет родственные значения параметров с алюминием. Из-за повышенной температуры во время обработки данных материалов по сравнению с другими мы имеем право рассуждать о подобной особенности алюминия и титана. В свою очередь изменение параметров обработки с учётом этого явления разрешит обрабатывать данные материалы ещё эффективнее, то есть повысить производительность за счёт подачи на межэлектродный промежуток оптимального количества энергии, которое не будет приводить к ухудшению точности обработки и увеличению шероховатости. В авиакосмической области преимущественными являются титановые и алюминиевые сплавы для конструкций ответственных изделий благодаря их прочности и лёгкости. К данным материалам предъявляются жёсткие требования в отношении качества материала и его обработки.

В источнике, опубликованном в работе [3], говорится о повышении эффективности обработки с помощью исследования тепловых явлений.

На рис. 1 и 2 приведены результаты температуры заготовки в процессе обработки в зависимости от изменения параметров обработки.

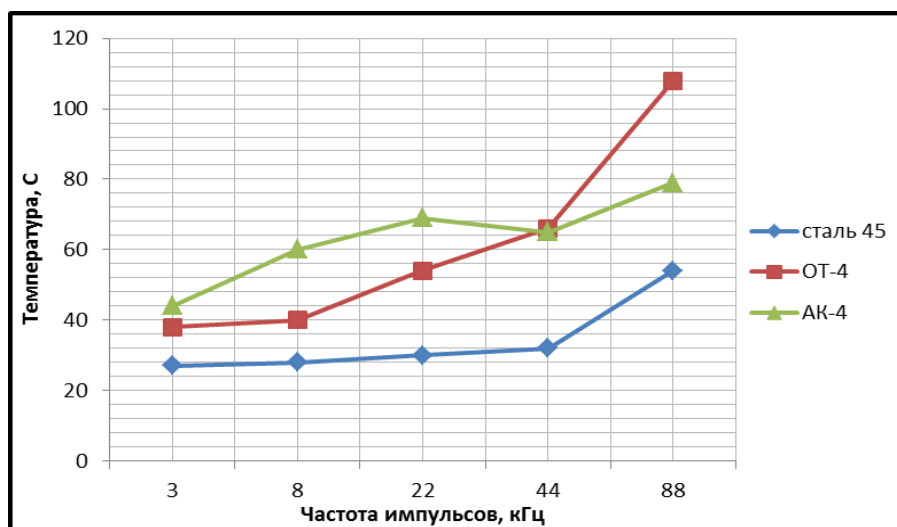


Рис. 1. Зависимость температуры от изменения частоты импульсов

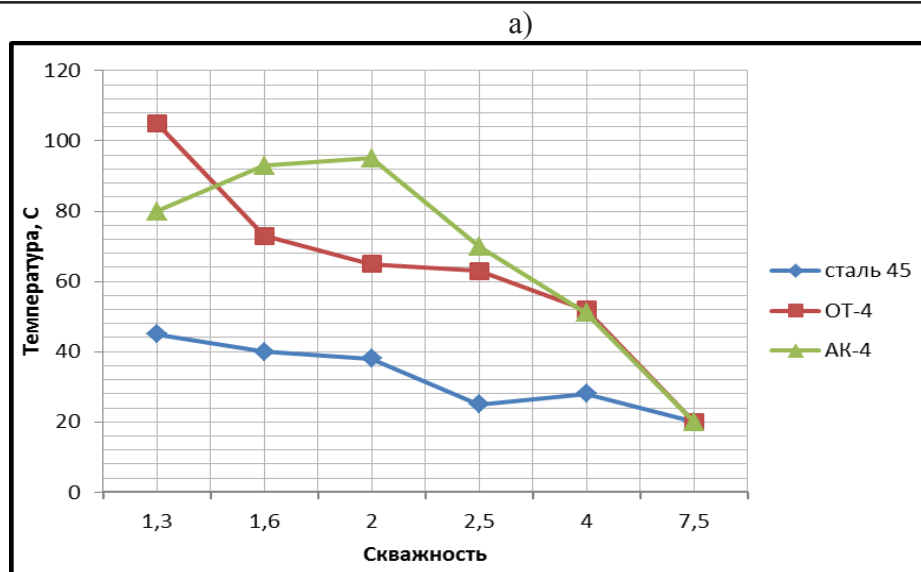


Рис. 2. Зависимость температуры от изменения частоты скважности

У алюминиевого и титанового сплавов концентрация тепловой энергии схожа, хотя у первого компонента коэффициент удельной теплопроводности больше, чем у его оппонента, а сталь имеет коэффициент удельной теплопроводности меньше, в разы меньше. Рассмотрим теплофизические характеристики металлов (см. табл. 1).

Таблица 1

Теплофизические характеристики металлов

Металл	Физическая величина						
	$T_{пл}, ^\circ\text{C}$	$T_{исп}, ^\circ\text{C}$	$q_{пл}, \text{Дж/г}$	$q_{исп}, \text{Дж/г}$	$\lambda, \text{Вт/см}\cdot\text{К}$	$c^*, \text{Дж/г}\cdot\text{К}$	$\rho, \text{г/см}^3$
Al	660	2450	396	10 850	2,09	0,90	2,7
		2494	400	10 900	2,20	0,94	
Fe	1535	2735	247	6265	0,75	0,46	7,87
		2750	277	6340			
Ti	1660	3260	358	8970	0,19	0,52	4,5
	1668	3287	392	9227	0,22	0,54	

Очень мало времени занимает создание «уса» из алюминия: всё происходит во время пробы, так как удельная теплота испарения у алюминия в 1,7 раза больше, чем у стали, и больше, чем у титана. Когда на выбранные нами материалы подаётся одинаковое количество энергии за 1 импульс, на алюминий придётся наибольшая доля плавленого материала и наименьшая доля паров, но никак не в лунке на поверхностном слое сплава, где железо – основа сплава. Это значит, что при сжатии газового пузыря и при пропускании заготовки-электрода в МЭП алюминия, в жидкой фазе алюминий остывает быстрее и создаёт «усы». Титан имеет большее значение теплоёмкости и меньшее значение коэффициента теплопередачи в отличие алюминия, но всё равно он должен иметь похожую окислительную способность с алюминием. Из-за таких параметров титан имеет меньшее количество расплавленного материала и меньшие размеры «уса».

Автор исследования [4] рассматривал эффекты, при которых образовывался пробой в жидких диэлектриках. В результате было выявлено, что появление «усов» говорит о наличии у металла химически активного компонента, о типе диэлектрика, промежутка между электродами, размера канала, большой напряжённости внешнего поля при пробое и количества энергии импульса.

«Усы» могут образовываться и достигать нескольких сантиметров при определённых параметрах: повышенной напряжённости поля, удалённости электродов. С помощью экспериментов было выявлено, что от одного пробоя образуются кромки кратера и на алюминиевых и титановых электродах осуществляются разряды с последующим образованием «усов». Для подтверждения нашего предположения были проведены экспериментальные исследования на копировально-прошивочном электроэрозионном станке с генератором импульсов ШГИ 40-440М (см. рис. 3).

а)



б)

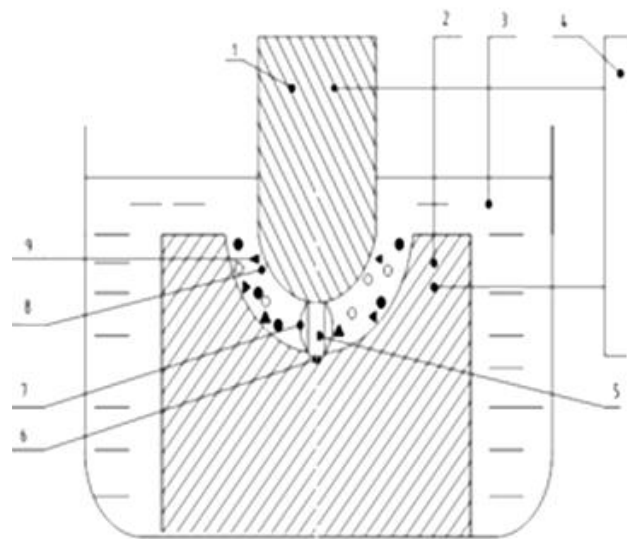


Рис. 3. Копировально-прошивочный электродный станок (а) и схема экспериментальной установки (б): 1 – электрод-инструмент; 2 – электрод-заготовка; 3 – рабочая жидкость; 4 – генератор; 5 – канал заряда; 6 – лунка, образованная разрядом; 7 – газовый пузырь; 8 – частицы металла (шлам); 9 – продукты пиролиза

Электродом при эксперименте послужила медь М1. Обрабатываемыми материалами являются титановый сплав ОТ-4 и алюминиевый сплав АК-4. Нами было выявлено несколько закономерностей: когда повышается энергия, тепловыделение на алюминиевом сплаве увеличивается, а для стального электрода-заготовки в том же диапазоне импульсов тепловыделение носит линейный характер. У титанового сплава растёт температура в конце диапазона мощности. Установлено, что частота импульсов не оказывает большого влияния на тепловые явления и на материалы электродов, а также образование «усов» из-за меньшего времени между разрядами. Но на стальном сплаве температура ниже, чем у других материалов при прочих равных значениях частоты. Дальнейшее исследование описанного явления возможно путём записи происходящего в межэлектродном пространстве с помощью высокоскоростной камеры высокого разрешения (до 100 тыс. кадров/сек).

Данный вид исследования позволил документально удостовериться в наличии оксидных «усов» и условий их возникновения и развития. Установлено, что расширение и сужение канала зависит от введения напряжения и временного интервала, то есть при прекращении введения расширение канала заметно уменьшается и по истечении времени сужается из-за давления от жидкости, окружающей канал. Когда происходит охлаждение металла из-за высокой пластичности и хи-

мической активности, маленькие частички материала, особенно алюминия, окисляются и расплавляются в оксидные «усы» [4].

Процесс показан на рис. 4. По приближенным расчётам, длина этих «усов» может достигнуть нескольких сантиметров.

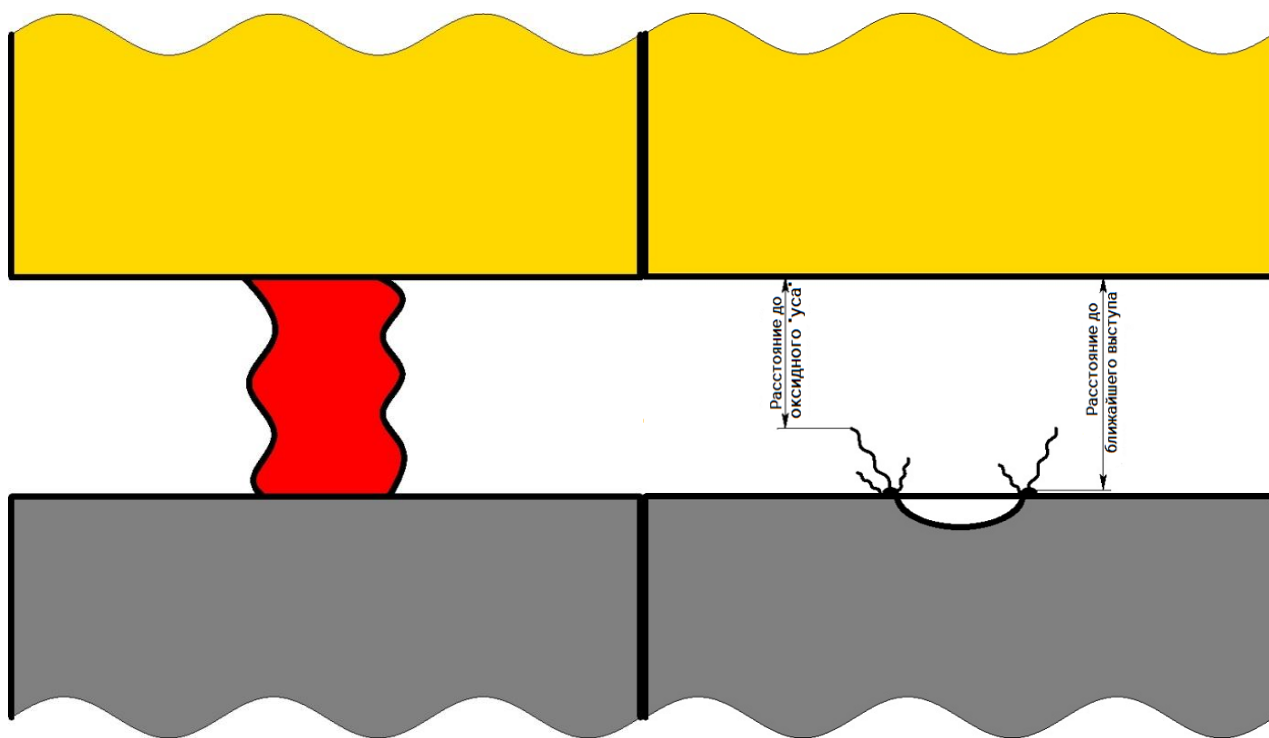


Рис. 4. Упрощённое представление пробоя на алюминиевый сплав

В результате исследований характеристик алюминия и титана можно сделать вывод о схожести процесса пробоя на эти сплавы. Конечно, данные сплавы имеют отличия, так как при таких параметрах титана, как повышенная удельная теплота плавления и пониженная теплопроводность, не сможет подогреться большая поверхность материала, следовательно, оксидные «усы» не будут расти. Было выявлено, что незначительное изменение межэлектродного промежутка может значительно влиять на процесс обработки и конечный результат.

Нами были получены изображения (см. рис. 7) при обработке стали 45, алюминия АК-4, титана ОТ-4 с замером температурного режима электрода-инструмента на копировально-прошивочном электродном станке (см. рис. 3); медь и графит являются электрод-инструментами.

Расчёт теплопроводности подтверждает, что обработка выбранных нами материалов не полностью вписывается в представленную выше теорию. И тогда была выдвинута гипотеза о некоторых особенностях, сопутствующих процессу ЭЭО материалов. Предположительно возможно образование «усов» в процессе разряда, при котором расплавленный материал удалился из лунки, сами же «усы» содействуют образованию последующего пробоя, где эффективно сокращается межэлектродный промежуток.

Графики показывают, что значения температуры алюминия и титана превышают значения температуры стали при обработке в тех же режимах. Такое явление для титана мы можем объяснить благодаря таким параметрам, как повышенная плотность и теплоёмкость, пониженная теплопроводность, которые приводят к образованию тепловой энергии, при которой возникает контакт между материалом и каналом разряда. Что касается алюминия, то данное явление не объяснено из-за того, что этот сплав обладает повышенной и пониженной теплоёмкостью; это должно способствовать теплоотводу от области обработки. Это позволяет думать о том, что механизм пробоя алюминия значительно отличается от механизма пробоя титана.

Дальнейшие исследования единичного импульса также производились с использованием настольного прецизионного электроэрозионного копировально-прошивочного комплекса ДГТ-ЭП-03, изображённого на рис. 5, и микроскопа Neophot 2 с максимальным увеличением $\times 1000$, изображённого на рис. 6.

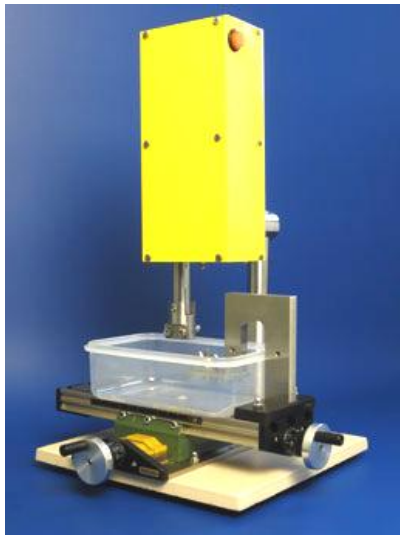


Рис. 5. Настольный прецизионный электроэрозионный копировально-прошивочный комплекс ДГТ-ЭП-03

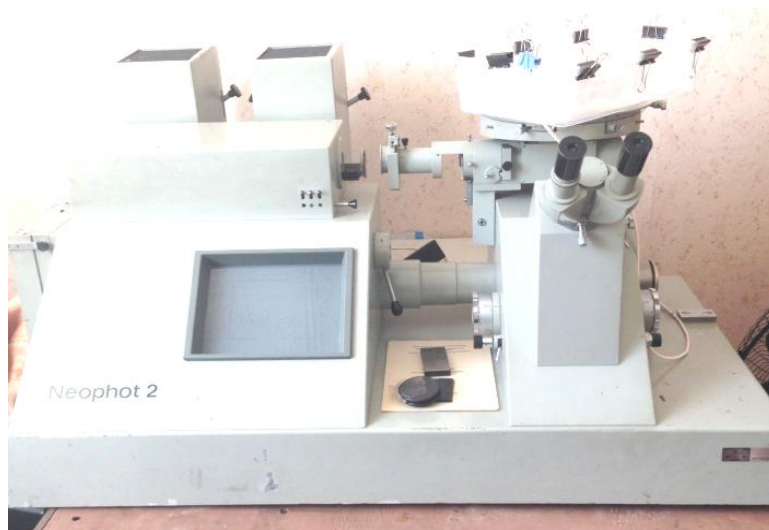


Рис. 6. Микроскоп Neophot 2

Результаты и обсуждение

После того как были получены и обработаны результаты обработки стали, алюминия и титана, нами были проведены исследования гипотезы на единичном импульсе. Возникающий пробой осуществлялся между электродами с минимальной обработкой, но приближенной к условиям обработки. На рис. 7 представлены фотографии прохождения импульса между медным электрод-инструментом и алюминиевой электрод-заготовкой при одном пробое из множества полученных на воздухе, сделанные через объектив микроскопа.

Видно, что края лунки не имеют образований, которые влияют на процесс пробоя. Были проведены исследования, в результате которых можно утверждать, что лунка в жидком диэлектрике имеет большее значение, чем на воздухе, при одних и тех же материалах.

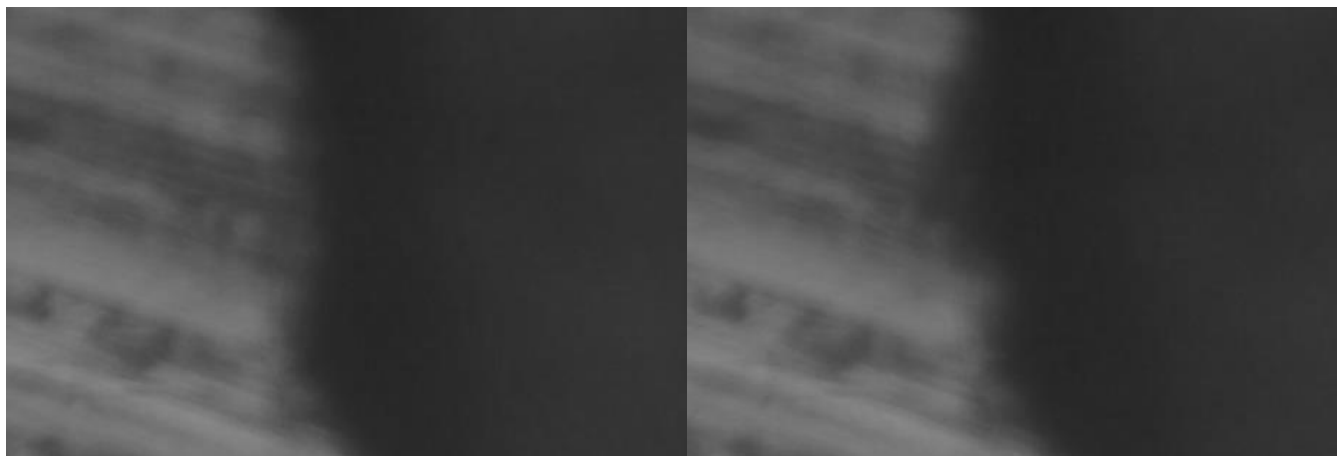


Рис. 7. Прохождение импульса между медным электрод-инструментом и алюминиевой электрод-заготовкой (увеличение в 1000 раз)

На рис. 8 показан результат пробоя алюминия, где в качестве диэлектрической жидкости использовалась дистиллированная вода. На рис. 8, б видны нитевидные образования. Мы считаем, что это и есть те самые «усы».

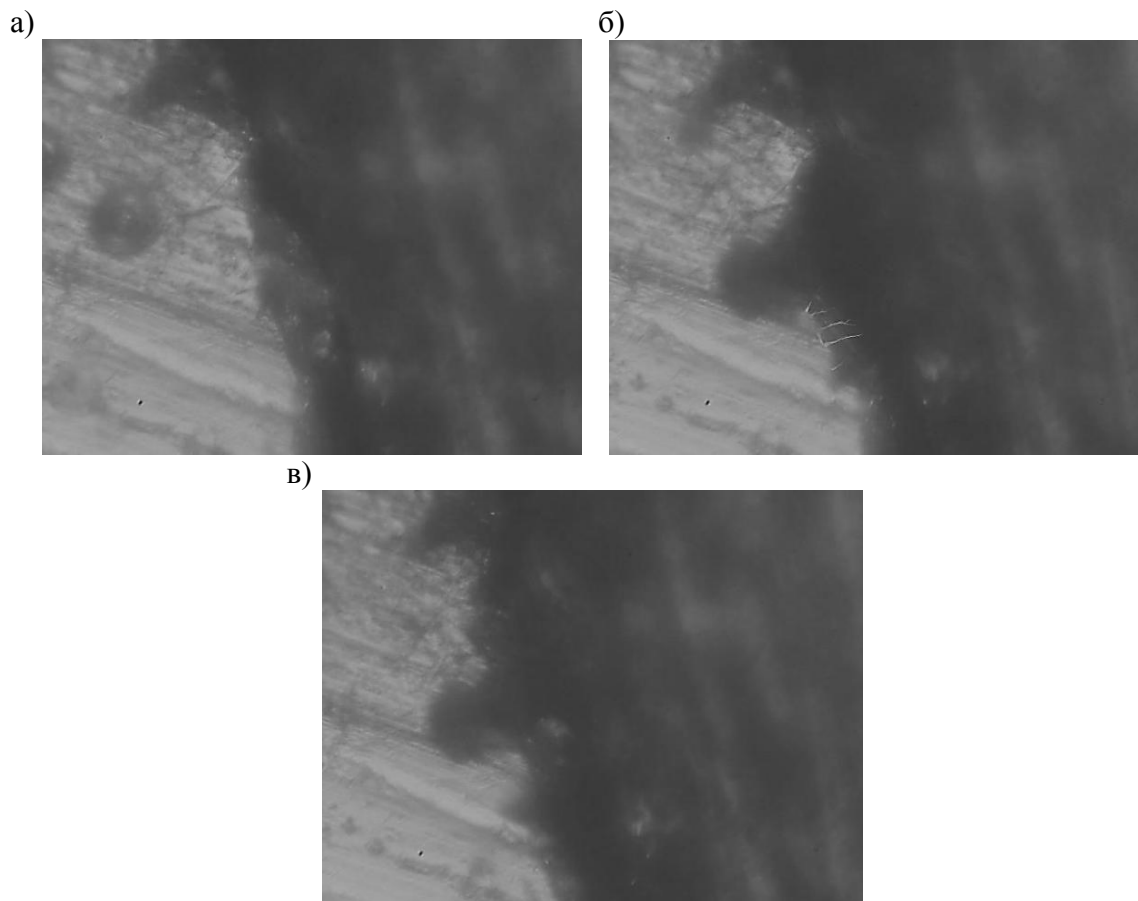


Рис. 8. Пробой в жидком диэлектрике. Электрод-инструмент – медь, электрод-заготовка – алюминий: а – до первого пробоя; б – после первого пробоя; в – после второго пробоя (увеличение в 1000 раз)

На наш взгляд, появление «усов» зависит от энергии импульсов, когда расстояние между электродами сокращается и холостые импульсы переносятся в рабочий вид, зависят от объёма возникающей лунки, от жидкости в межэлектродном пространстве, а также от электродов после пробоя. Но на данный момент времени не получается выявить закономерности образования «усов», так как на это образование влияет слишком много факторов.

Выводы

1. Экспериментально доказано, что при обработке стали «усы» не образовались, так как пробой не провоцирует возникновение отклонений из-за низкой химической активности заготовки.

2. Научно обоснована возможность существования оксидных образований «усов» алюминия и титана; также было сделано обоснование влияния единичного пробоя на весь процесс обработки целиком. «Усы» при обработке алюминия образовывались гораздо чаще, чем при обработке титана, так как химическая активность титана ниже, хотя использовали одни и те же значения температуры. Кроме того, частички титана должны быть тяжелее у такого материала, как титан, следовательно, «усы» при таких условиях образуются реже.

3. Доказано, что образования из оксида алюминия получаются разной длины при разных режимах обработки. Экспериментально доказана малая вероятность появления оксидных образований при обработке титана.



4. Нами внесены корректировки в теорию процесса пробоя в жидком диэлектрике между электродами.

5. В процессе эксперимента выявлены условия тепловых явлений на электрод-заготовках из трёх материалов в разных режимах.

6. Выдвинута гипотеза об образовании нитевидных образований после пробоя, имеющих влияние на последующий пробой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сариков, М. Ю. Механизм электроэрозионного пробоя в воде на алюминиевые и титановые сплавы / М. Ю. Сариков, А. С. Линёв // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6(6). – С. 1349–1353.
2. Сариков, М. Ю. Исследование процесса межэлектродного пробоя в жидком диэлектрике с целью повышения эффективности электроэрозионной обработки / М. Ю. Сариков, А. С. Линёв // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. 2013. – № II-1(14). – С. 55–63.
3. Сариков, М. Ю. Влияние процесса электроискрового разряда на эффективность электроэрозионной обработки алюминиевых и титановых сплавов / М. Ю. Сариков, А. С. Линёв // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2015. – № II-1(22). – С. 57–65.
4. Сариков, М. Ю. Повышение эффективности электроэрозионной обработки алюминиевых и титановых сплавов / М. Ю. Сариков, А. С. Линёв // Металлургия машиностроения. – 2016. – № 3. – С. 52–59.