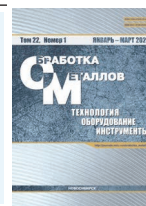




Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)

Сайт журнала: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Комплексный анализ процесса электроэрозионной обработки биметаллического материала сталь-медь

Евгений Шлыков ^{a,*}, Тимур Абляз ^b

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Комсомольский проспект, 29, г. Пермь, 614990, Россия

^a <https://orcid.org/0000-0001-8076-0509>, Kruspert@mail.ru, ^b <https://orcid.org/0000-0001-6607-4692>, lowrider11-13-11@mail.ru

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 621.1.9

История статьи:

Поступила: 7 декабря 2019

Рецензирование: 19 декабря 2019

Принята к печати: 30 января 2020

Доступно онлайн: 15 марта 2020

Ключевые слова:

Копировально-прошивная
 электроэрозионная обработка

Режимы резания

Электрод

Биметаллический материал

Финансирование

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ по государственной поддержке молодых российских ученых – кандидатов наук № МК-2072.2019.8

АННОТАЦИЯ

Введение. Развитие современного машиностроения вызывает необходимость создания материалов, обладающих комплексом таких свойств, как прочность, коррозионная стойкость, теплопроводность, жаропрочность, износостойкость и др. При изготовлении новых видов изделий, обладающих сложным профилем, широкое применение находят биметаллические материалы. Для обработки таких изделий целесообразно применять электрофизические методы обработки, одним из которых является технология копировально-прошивной электроэрозионной обработки (КПЭЭО). В настоящее время метод КПЭЭО является одним из самых распространенных методов обработки современных материалов. Статья посвящена повышению эффективности КПЭЭО биметаллических материалов типа сталь-медь. Предметами исследования являются: неравномерность съема материала обработанной поверхности, параметр шероховатости при КПЭЭО биметаллического материала типа сталь-медь при различных режимах электроэрозионной обработки. **Целью работы** является повышение эффективности и точности процесса КПЭЭО сложнопрофильных биметаллических изделий электродами-инструментами (ЭИ) с различными физико-механическими свойствами. **Методы.** Экспериментальные исследования проводились по методу классического эксперимента. Для проведения экспериментов использовали копировально-прошивной электроэрозионный станок Smart CNC. В качестве биметаллического обрабатываемого изделия использована стальная подложка с наплавленным покрытием. Материал основы – сталь 09Г2С, материал наплавки – медь М1. В качестве электродов-инструментов использовали: сталь 20; дюралюминий марки Д16; медь М2. **Результаты и обсуждения.** Разработана теоретическая модель, позволяющая рассчитать величину съема биметаллического материала сталь-медь в зависимости от режимов КПЭЭО и материала ЭИ. Сходимость теоретической модели с результатами экспериментов составляет 15 %. Проведено экспериментальное исследование износа ЭИ при КПЭЭО биметаллического материала сталь-медь в зависимости от режимов обработки и материала ЭИ. Установлено, что при КПЭЭО медным ЭИ на режимах *med* и *max* износ ЭИ минимален и составляет 0,03...0,05 мм соответственно. Проведен расчет параметров шероховатости и анализ обработанной поверхности биметаллического материала сталь-медь КПЭЭО на разных режимах обработки ЭИ с различными электрофизическими свойствами.

Для цитирования: Шлыков Е.С., Абляз Т.Р. Комплексный анализ процесса электроэрозионной обработки биметаллического материала сталь-медь // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2020. – Т. 22, № 1. – С. 16–26. – DOI: 10.17212/1994-6309-2020-22.1-16-26.

Введение

Развитие современного машиностроения вызывает необходимость создания материалов, обладающих комплексом таких свойств, как прочность, коррозионная стойкость, теплопроводность, жаропрочность, износостойкость и др.

*Адрес для переписки

Шлыков Евгений Сергеевич, к.т.н., доцент
 Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
 Комсомольский проспект, 29,
 614990, г. Пермь, Россия
 Тел: 8(342)2-198-324, e-mail: Kruspert@mail.ru

При изготовлении новых видов изделий, обладающих сложным профилем, широкое применение находят биметаллические материалы [1]. Такие материалы изготавливаются соединением разнородных металлов в единую композицию, сохраняющую надежную связь [2, 3].

При традиционной лезвийной обработке биметаллических изделий сложного профиля неизбежным является наличие ударных нагрузок в зоне резания, что приводит к снижению качества обработанной поверхности и увеличению износа инструмента. Зачастую твердость некоторых

биметаллов, в том числе наплавленных покрытий, превышает предел их обрабатываемости лезвийным инструментом, соответственно их обработка традиционными методами становится невозможной [4–6].

Для решения данной проблемы возможно применение копировально-прошивной электроэрозионной обработки (КПЭЭО) [7]. В настоящее время метод КПЭЭО является одним из самых распространенных методов обработки изделий, выполненных из современных биметаллических материалов. При КПЭЭО изделий, выполненных из биметаллических материалов, физические процессы, протекающие на обрабатываемой поверхности, отличаются от процессов, характерных при обработке изделий из однородного материала [8–10]. Это связано с тем, что компоненты биметаллического материала обладают разными физико-механическими свойствами и электроэрозионной обрабатываемостью. В работе [11] установлено, что считая электроэрозионную обрабатываемость стали 40 за единицу, можно принять электроэрозионную обрабатываемость других металлов в следующем соотношении: твердый сплав – 0,5; вольфрам – 0,3; титан – 0,6; медь – 1,1; латунь – 1,6; никель – 0,8; алюминий – 4; магний – 6. В связи с этим процесс КПЭЭО сложнопрофильных изделий, выполненных из биметаллов с различной обрабатываемостью, будет протекать неравномерно.

В связи с тем что электроэрозионная стойкость элементов, входящих в состав изделия, выполненного из биметаллического материала, различна, в процессе КПЭЭО электрод-инструмент (ЭИ) подвергается неравномерному износу [12–14]. В процессе КПЭЭО плавится не только обрабатываемый биметаллический материал, но и непосредственно сам ЭИ, что ведет к неравномерному его износу при обработке таких изделий [15]. Неравномерный износ ЭИ приводит к снижению качества обработанной поверхности, уменьшению производительности и точности [16–18]. В настоящее время не до конца изучен вопрос электроэрозионной обработки биметаллических материалов.

Разнородность изделий, выполненных из биметаллических материалов, не позволяет в полной мере прогнозировать показатели качества и точности при разработке технологии КПЭЭО таких изделий с применением традиционных

технологических таблиц [18]. В связи с этим достаточно сложно выдерживать критерии качества при высоких показателях производительности, что приводит к увеличению времени освоения новых изделий и понижает эффективность производства [18–22].

Актуальной задачей является получение теоретической зависимости влияния режимов КПЭЭО на производительность процесса, а также на формирование показателей качества обработанных поверхности изделий, выполненных из биметаллических материалов.

Цель работы: повышение эффективности и точности процесса КПЭЭО биметаллических изделий электродами-инструментами с различными физико-механическими свойствами.

Задачи

1. Разработать теоретическую модель, позволяющую описать взаимосвязь производительности съема биметаллического материала сталь-медь в зависимости от режимов КПЭЭО и материала ЭИ.

2. Экспериментальное исследование износа ЭИ при КПЭЭО биметаллического материала сталь-медь в зависимости режимов КПЭЭО и материала ЭИ.

3. Провести анализ параметров качества и расчет параметров шероховатости обработанной поверхности биметаллического материала сталь-медь КПЭЭО на разных режимах обработки ЭИ с различными электрофизическими свойствами.

Методика исследований

В качестве биметаллического обрабатываемого изделия использована стальная подложка с наплавленным покрытием. Материал основы – сталь 09Г2С, ГОСТ 19281–89. Материал наплавки – медь М1, ГОСТ 859–2001.

Обработку биметаллической заготовки осуществляли на копировально-прошивном электроэрозионном станке Electronica Smart CNC.

В качестве ЭИ использовали: сталь 20 ГОСТ 1050–88; медь М2 ГОСТ 859–2001; дюралюминий Д16 ГОСТ 4784–74. Диаметр ЭИ составлял 8 мм; заданная глубина обработки – 5 мм. Рабочая жидкость (РЖ) – трансформаторное масло EDM Oil – IPOL SEO 450. В табл. 1 представлены режимы КПЭЭО.

Таблица 1

Table 1

Режимы КПЭЭО биметаллического материала
Processing modes bimetallic material

Режим	$T_{оп}$, мкс	I_p , А	U , В
Минимальный	1	0,5	50
Медианный	100	3	50
Максимальный	750	20	50

Исследование рельефа обработанных поверхностей образцов проводили на сканирующем электронном микроскопе (SEM) Phenom-WorldG2 ProX при увеличениях $\times 500-4000$ и ускоряющем напряжении 15 кВ. Шероховатость поверхности после КПЭЭО оценивали с помощью лазерного сканирующего микроскопа Lext OLS4000 фирмы Olympus на 3D-модели изображения полученной при помощи программного модуля 3D Roughness Reconstruction.

Износ ЭИ замеряли на координатно-измерительной машине Carl Zeiss Contura G2.

Разработка теоретической модели проводилась согласно методике, представленной в работе [11]. Начальные условия и допущения теоретической модели: отсутствие диффузионного слоя, ЭИ однороден и совершает поступательное движение, свойства РЖ одинаковы по всей длине зазора между ЭИ и заготовкой.

Обрабатываемые поверхности ЭИ и заготовки могут быть заданы такими неявными функциями, как:

$$\begin{aligned} F_{ЭИ}(x, y, z + h, h) &= 0, \\ F_3(x, y, z, h) &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где x, y, z – декартовы координаты точек, расположенных на поверхности ЭИ и заготовки; $h = \int_0^t V_{ЭИ}(\tau) d\tau$ – расстояние, пройденное ЭИ вдоль оси z ; $V_{ЭИ}(\tau)$ – скорость перемещения ЭИ в процессе обработки; t – время.

Результаты их обсуждение

Так как слои биметаллических изделий различаются по своим физико-механическим свойствам и по электроэрозионной обрабатываемости, то по истечении определенного

времени с каждой части удаляется определенное количество материала. Минимальная величина межэлектродного зазора на одном из материалов превысит величину, необходимую для пробоя, что приведёт к неравномерности износа ЭИ [3]. В процессе КПЭЭО поверхности ЭИ и заготовки будут приобретать ярко выраженную ступенчатую форму со скругленными углами профиля.

Из формулы (1) выводим уравнения изменения поверхностей заготовки из биметалла и ЭИ в процессе обработки [3, 9–15]:

$$-qkV_{ЭЭО} |\text{grad} F_{ЭИ}| + \frac{\partial F_{ЭИ}}{\partial h} + \frac{\partial F_{ЭИ}}{\partial(z+h)} = 0, \quad (2)$$

$$-V_{ЭЭО} |\text{grad} F_3| + \frac{\partial F_3}{\partial h} = 0,$$

где q – относительный объемный износ ЭИ; k – коэффициент, который учитывает кривизну ЭИ; $V_{ЭЭО}$ – скорость съема металла. Данные уравнения показаны на рис. 1 для случая однородного материала заготовки. Заменяем переменные:

$$T_{ЭИ}(x, y, z + h) = F_{ЭИ}(x, y, z + h, h) - h, \quad (3)$$

$$T_3(x, y, z) = F_3(x, y, z, h) - h.$$

Зависимости (3) сводим к уравнениям типа эйконала:

$$\begin{aligned} |\text{grad} F_{ЭИ}| &= \frac{1}{qkV_{ЭЭО}} \left(1 + \frac{\partial T_{ЭИ}}{\partial(z+h)} \right), \\ |\text{grad} F_{ЭИ}| &= \frac{1}{V_{ЭЭО}}. \end{aligned} \quad (4)$$

Учитывая проведенные допущения, теоретическая модель принимает вид системы уравнений (4) для каждой части заготовки:

$$\begin{aligned} |\text{grad} F_{ЭИ}| &= \frac{1}{qkV_{ЭЭО1}} \left(1 + \frac{\partial T_{ЭИ1}}{\partial(z+h)} \right), \\ |\text{grad} F_{3_1}| &= \frac{1}{V_{ЭЭО1}}, \\ |\text{grad} F_{ЭИ2}| &= \frac{1}{qkV_{ЭЭО2}} \left(1 + \frac{\partial T_{ЭИ2}}{\partial(z+h)} \right), \\ |\text{grad} F_{3_2}| &= \frac{1}{V_{ЭЭО2}}, \end{aligned} \quad (5)$$

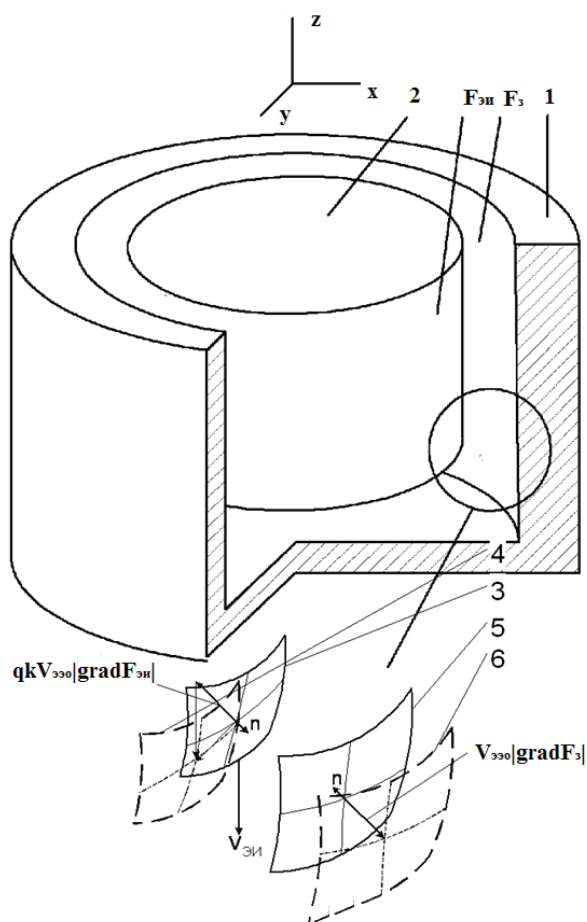


Рис. 1. Изменение поверхностей:

1 – обрабатываемая заготовка; 2 – электрод-инструмент; 3 – начальная поверхность электрода; 4 – измененная поверхность электрода; 5 – начальная поверхность заготовки; 6 – измененная поверхность заготовки

Fig. 1. Changing the surfaces:

1 – blank; 2 – electrode tool; 3 – the initial surface of the electrode; 4 – a modified surface of the electrode; 5 – the initial surface of the workpiece; 6 – changed surface of the workpiece

индексы 1 и 2 коррелируются с участками заготовки из разнородных материалов и соответствующим участкам ЭИ.

Скорость КПЭЭО заготовки можно рассчитать по зависимости

$$V_{\text{ЭЭО}} = C\rho\lambda T^2 W_{\text{и}} f, \quad (6)$$

где C – теплоемкость материала; ρ – плотность; λ – коэффициент теплопроводности; T – температура плавления; $W_{\text{и}}$ – энергия импульсов; f – частота следования импульсов.

Согласно зависимости (6) количество материала, удаленного за время одного импульса, помимо энергии импульса зависит еще и от теплофизических свойств обрабатываемого материала таких, как температура плавления, теплопроводность, теплоемкость и плотность. Зная данные свойства компонентов биметаллического материала, возможно рассчитать скорость КПЭЭО для каждого из компонентов материала.

В табл. 2 представлены результаты расчета отношения скорости разрушения ЭИ при обработке биметаллического материала типа сталь-медь; 1 – участок ЭИ, соответствующий стальной части (скорость $V_{\text{ЭЭО}1}$); 2 – участок ЭИ, соответствующий медной части заготовки (скорость $V_{\text{ЭЭО}2}$).

Зная значение скорости КПЭЭО участков ЭИ из различных материалов обрабатываемой заготовки и считая время обработки постоянным, становится возможным рассчитать расстояние, пройденное ЭИ для каждого участка [3]:

$$h = \int_0^t V_{\text{ЭИ}}(\tau) d\tau. \quad (7)$$

В табл. 3 представлены результаты теоретического расчета съема материала при обработке биметаллического материала сталь-медь. Неравномерность съема материала можно рассчитать как разность расстояния, пройденного

Таблица 2

Table 2

Отношение скорости разрушения участков электродов

The ratio of the destruction rate of the electrode sections

Режим обработки	Дюралевый ЭИ	Стальной ЭИ	Медный ЭИ
	$V_{\text{ЭЭО}1}/V_{\text{ЭЭО}2}$	$V_{\text{ЭЭО}1}/V_{\text{ЭЭО}2}$	$V_{\text{ЭЭО}1}/V_{\text{ЭЭО}2}$
Минимальный	0,08	0,4	0,1
Медианный	0,53	0,53	0,02
Максимальный	0,4	0,33	0,06

Таблица 3

Table 3

Расчетные значения неравномерности съема материала при обработке биметаллического материала сталь-медь

The calculated values of the unevenness of material removal during processing of steel-copper bimetallic material

Режим обработки	Дюралевый ЭИ	Стальной ЭИ	Медный ЭИ
	$h_{\text{сталь}} - h_{\text{медь}}$	$h_{\text{сталь}} - h_{\text{медь}}$	$h_{\text{сталь}} - h_{\text{медь}}$
Минимальный	2,1	1,3	0,6
Медианный	1,6	1,5	0,3
Максимальный	1,8	1,4	0,1

электродом при обработке стальной части биметаллического материала ($h_{\text{сталь}}$), и расстояния, пройденного электродом при обработке медной части ($h_{\text{медь}}$).

Установлено, что при КПЭЭО медным ЭИ неравномерность съема материала наименьшая по сравнению с другими ЭИ. Для проверки теоретической модели проведены эксперименты по исследованию износа ЭИ и неравномерности съема материала при КПЭЭО биметаллического материала типа сталь-медь разнородными ЭИ.

На рис. 2 показана неравномерность съема материала при обработке тремя видами ЭИ: дюралевым, стальным и медным ЭИ на среднем режиме, где H – величина неравномерности съема материала.

Сводные данные по всем режимам обработки для разнородных электродов приведены в табл. 4.

При КПЭЭО ЭИ из дюралю биметаллического материала типа сталь-медь наибольшая неравномерность съема материала достигается

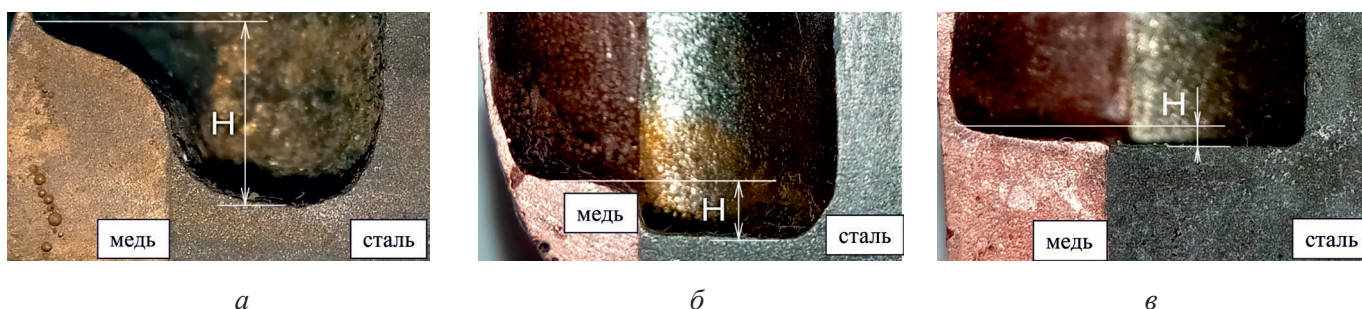


Рис. 2. Неравномерность съема материала при обработке тремя видами ЭИ на среднем режиме:

a – дюралевый ЭИ; b – стальной ЭИ; v – медный ЭИ

Fig. 2. The unevenness of material removal during processing with three types of EI in the middle mode:

a – duralumin EI; b – steel EI; v – copper EI

Таблица 4

Table 4

Неравномерность съема материала при обработке разнородными ЭИ на трех режимах, H , мм
Uneven material removal during processing with heterogeneous EI in three modes, H , mm

Материал ЭИ	H , минимальный режим	H , медианный режим	H , максимальный режим
Дюраль	2,4	1,3	2
Сталь	1,5	1,8	1,7
Медь	0,9	0,1	0,2

на минимальных и максимальных режимах и составляет 2...2,4 мм. Во время КПЭЭО дюралевым ЭИ происходит его интенсивный износ. Это связано с тем, что электроэрозионная стойкость меди выше стойкости алюминия.

При обработке биметаллического образца стальным ЭИ максимальная неравномерность съёма материала достигается на медианном режиме и составляет 1,8 мм. Минимальная неравномерность съёма материала составляет 1,5 мм и достигается на минимальных режимах. Это можно объяснить тем, что при обработке материалов, обладающих высокой теплопроводностью, необходимо подбирать минимальные режимы обработки, при которых тепло распределяется равномерно по всему объёму обрабатываемой детали и не приводит к ее перегреву.

При обработке медным ЭИ наибольшая неравномерность съёма материала достигнута на максимальном режиме КПЭЭО и составляет 0,9 мм. Минимальная неравномерность съёма материала – на медиальных и максимальных режимах, она составляет 0,1...0,2 мм.

Целесообразно обрабатывать биметаллический материал типа сталь-медь на медианном и максимальном режимах и получать при этом наименьшую неравномерность обработки.

Сравнение значений неравномерности съёма биметаллического материала сталь-медь, полученных теоретическим методом, и значений, полученных практическим методом, показало расхождение порядка 15 %.

Помимо биметаллического материала типа сталь-медь образование неравномерности происходит также на ЭИ. На рис. 3 представлена схема образования неравномерности на дюралевом ЭИ при обработке на медианном режиме, где h – неравномерность износа ЭИ. Сводные

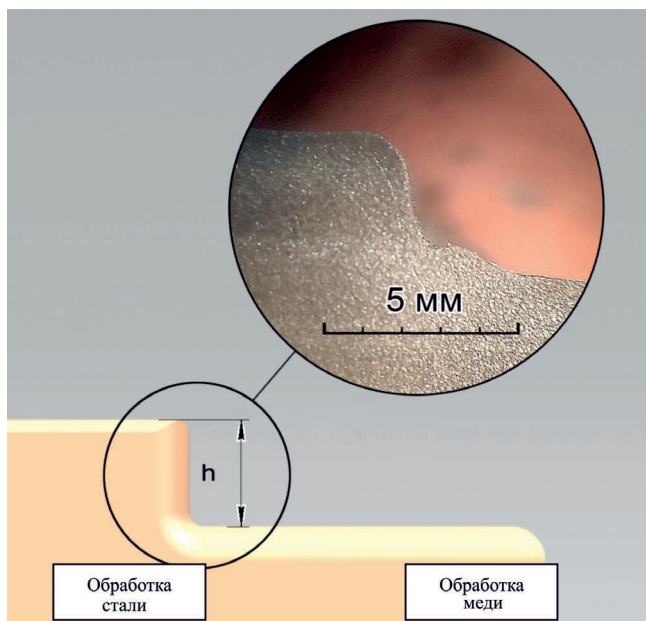


Рис. 3. Неравномерность износа ЭИ при обработке дюралевым ЭИ на среднем режиме

Fig. 3. Uneven wear of EI during duralumin EI processing in medium mode

данные износа разнородных ЭИ по всем режимам обработки приведены в табл. 5.

При КПЭЭО дюралевым ЭИ на медианном режиме можно наблюдать значительное разрушение ЭИ. Происходили постоянные остановки КПЭЭО. Данное явление было вызвано интенсивным налипанием шлама, образующегося из-за низкой эрозионной стойкости ЭИ из данного материала.

КПЭЭО стальным ЭИ показала относительно равные результаты износа ЭИ на всех режимах. Помимо неравномерности съёма материала можно увидеть наросты на ЭИ. Данные наросты значительно ухудшают качество электроэрозионной обработки. Разрушение ЭИ в первую очередь зависит от теплофизических свойств материала – температуры плавления и теплопро-

Таблица 5

Table 5

Неравномерность износа разнородных ЭИ при обработке на трех режимах, H , мм
Uneven material removal during processing with heterogeneous ET in three modes, H , mm

Материал ЭИ	H , минимальный режим	H , медианный режим	H , максимальный режим
Дюраль	1,6	2,6	1,2
Сталь	1,8	1,6	1,5
Медь	0,7	0,05	0,03

водности. Нагрев обрабатываемой поверхности биметаллического материала, обладающего большей теплопроводностью при одинаковой величине энергии импульса, меньше, так как с большей скоростью он уходит внутрь материала.

Медные ЭИ позволяют обеспечить высокую производительность КПЭЭО и стабильное течение этого процесса. При электроэрозионной обработке медным ЭИ на медианном и максимальном режимах износ ЭИ получился минимальным и составляет 0,03...0,05 мм соответственно [15].

В настоящей статье проведено исследование параметра шероховатости обработанной поверхности биметаллического материала сталь-медь после обработки разнородными ЭИ на трех ре-

жимах. Результаты измерения шероховатости представлены в табл. 6.

На рис. 4 представлен рельеф обработанной поверхности материала стали на медианном режиме обработки тремя разнородными ЭИ.

Отличительной чертой обработанной поверхности стали биметаллического материала являются микротрещины по границам зерен. При обработке стального слоя наибольшее количество микротрещин наблюдается при обработке стальным ЭИ. Обработка стальным и дюралевым ЭИ приводит к образованию сколов и увеличению размера микротрещин на обработанной поверхности.

После обработки поверхности стали биметаллического материала медным ЭИ видны сле-

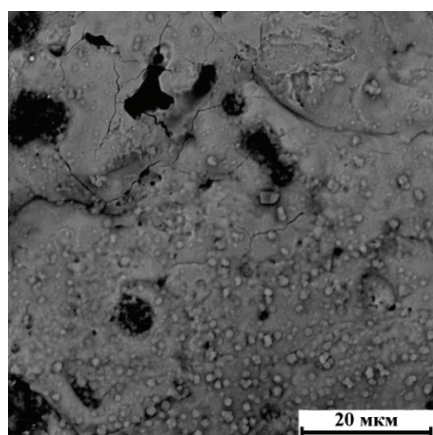
Таблица 6

Table 6

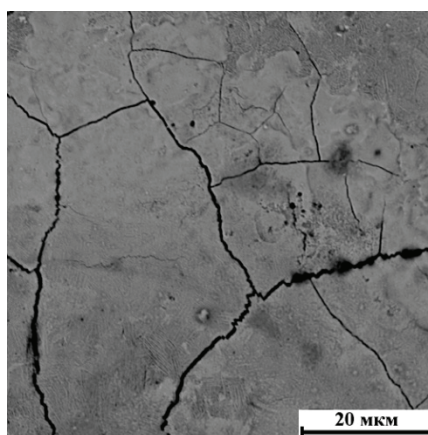
Параметр шероховатости биметаллического материала при обработке разнородными ЭИ на трех режимах

Roughness parameter of bimetallic material when processing heterogeneous ET in three modes

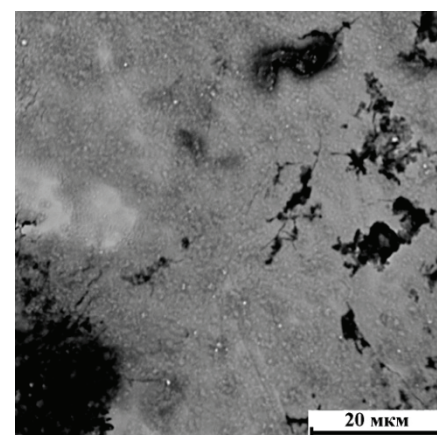
Материал ЭИ	Минимальный режим		Медианный режим		Максимальный режим	
	Ra на меди, мкм	Ra на стали, мкм	Ra на меди, мкм	Ra на стали, мкм	Ra на меди, мкм	Ra на стали, мкм
Дюраль	1,8	0,8	2,7	1,3	3,6	1,9
Сталь	4	1,9	6,1	3,2	8,9	4,4
Медь	7	3	9,1	4,6	12,2	6,1



а



б



в

Рис. 4. Обработанная поверхность стального слоя биметаллического материала:

а – дюралевый ЭИ; б – стальной ЭИ; в – медный ЭИ

Fig. 4. The processed surface of the steel layer of bimetallic material:

а – duralumin ET; б – steel ET; в – copper ETI

ды застывшего материала ЭИ. Такие наплавленные частицы медного ЭИ покрывают стальную поверхность неравномерно. Можно заметить формирование микротрещин на застывшем материале электрода-инструмента. Присутствие таких микротрещин на поверхности стального слоя может привести к возникновению макродефектов данного слоя и понижению эксплуатационных свойств детали, выполненной из данного материала.

На рис. 5 представлен рельеф обработанной поверхности материала меди на медианном режиме обработки тремя разнородными ЭИ.

Отличительной чертой обработанной поверхности меди биметаллического материала является наличие микронеровностей, образующих общую структуру поверхности разрушения в форме паутины и объединённых крупных лунок, имеющих кубическое строение. Образование подобных элементов на медной поверхности биметалла после КПЭЭО носит комплексный характер.

Показано, что обработка медного биметаллического слоя дюралевым ЭИ приводит к образованию структуры обработанной поверхности в форме паутины и образованию объединённых лунок малых размеров, имеющих кубическое строение. Обработка на данном режиме стальным ЭИ приводит к увеличению размеров объединённых лунок. Наибольшие размеры таких лунок на обработанной поверхности меди можно наблюдать после обработки медным ЭИ.

Выводы

1. Разработана теоретическая модель, позволяющая рассчитать величину съёма биметаллического материала съёма сталь-медь в зависимости от режимов КПЭЭО и материала ЭИ. Сходимость теоретической модели с результатами экспериментальных исследований составляет 15 %.

2. Проведено экспериментальное исследование износа ЭИ при КПЭЭО биметаллического материала сталь-медь в зависимости от режимов КПЭЭО и материала ЭИ. Установлено, что при КПЭЭО медным ЭИ на режимах медианном и максимальном износ ЭИ минимален и составляет 0,03...0,05 мм соответственно.

3. Проведенный расчет и анализ параметра качества обработанной поверхности биметаллического материала сталь-медь КПЭЭО на разных режимах обработки ЭИ с различными электрофизическими свойствами установил, что во время обработки стального слоя независимо от материала ЭИ образуются микротрещины по границам зерен, а во время обработки медного слоя происходит образование укрупнённых лунок. Данные явления приводят к ухудшению эксплуатационных свойств обрабатываемой детали.

Список литературы

1. Особенности применения композиционного материала «алюминий – нитрид бора» в авиационных двигателях / А.А. Живушкин, Е.А. Козлова, И.А. Чубуков, А.Ю. Марова // Вестник Самарского

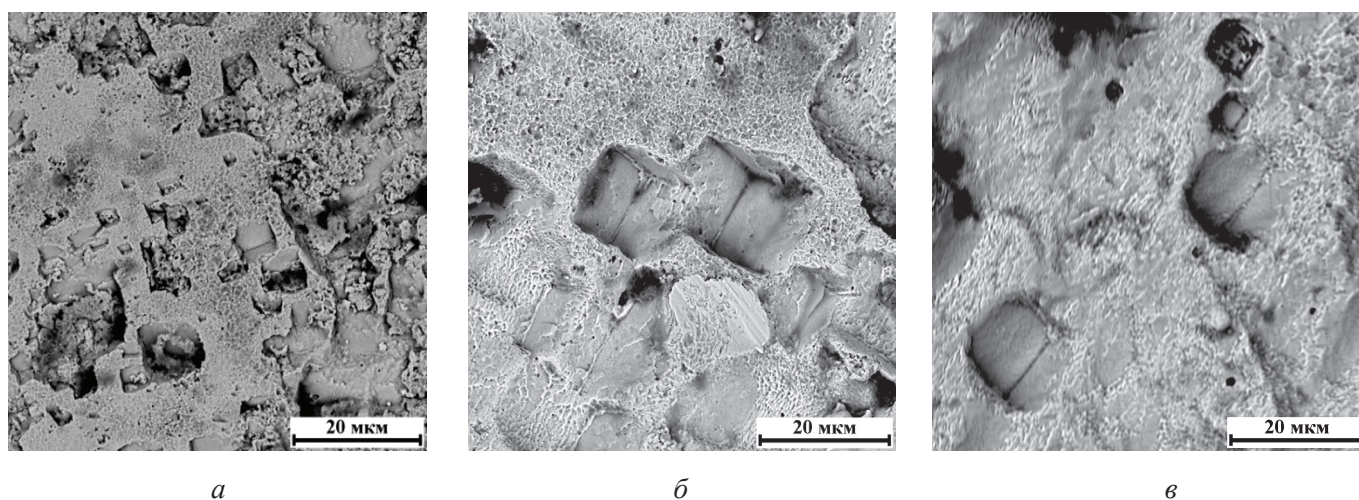


Рис. 5. Обработанная поверхность медного слоя биметаллического материала:

а – дюралевый ЭИ; б – стальной ЭИ; в – медный ЭИ

Fig. 5. The processed surface of the copper layer of bimetallic material:

а – duralumin ET; б – steel ET; в – copper ETI

государственного аэрокосмического университета. – 2009. – № 3 (19). – С. 235–239.

2. Голованенко С.А., Меандров Л.В. Производство биметаллов. – М.: Металлургия, 1966. – 132 с.

3. Матвеев А.С., Матвеев М.С. Особенности применения конструкционных материалов при изготовлении электродов вакуумных приборов // Конструкции из композиционных материалов. – 2010. – № 2. – С. 28–31.

4. Грицюк В.Г. Режимы и технология обработки биметаллов с наложением электрического поля: дис.... канд. техн. наук: 05.03.01. – Воронеж, 2005. – 201 с.

5. Плазменная наплавка меди на сталь на токе обратной полярности / С.Д. Неулыбин, Ю.Д. Шицын, П.С. Кучев, И.А. Гилев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16, № 1 (2). – С. 468–471.

6. Абляз Т.Р., Ханов А.М., Хурматуллин О.Г. Современные подходы к технологии электроэрозионной обработки материалов. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 112 с.

7. Погонин А.А., Бойко А.Ф., Блинова Т.А. Дисперсный анализ продуктов электроэрозионной прецизионной обработки // Технология машиностроения. – 2010. – № 6. – С. 26–28.

8. Слюсарев М.В. Исследование параметров качества биметаллических листов // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 9. – 2007. – Вып. 6. – С. 176–182.

9. Lee H.T., Tai T.Y. Relationship between EDM parameters and surface crack formation // Journal of Materials Processing Technology. – 2003. – Vol. 142, iss. 3. – P. 676–683. – DOI: 10.1016/S0924-0136(03)00688-5.

10. Das S., Klotz M., Klocke F. EDM simulation: finite element-based calculation of deformation, microstructure and residual stresses // Journal of Materials Processing Technology. – 2003. – Vol. 142, iss. 2. – P. 434–451. – DOI: 10.1016/S0924-0136(03)00624-1.

11. Журин А.В. Методы расчета технологических параметров и электродов-инструментов при электроэрозионной обработке: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01. – Тула, 2005. – 132 с.

12. Tang J., Yang X. A thermo-hydraulic modelling for the formation process of the discharge crater in EDM // Procedia CIRP. – 2016. – Vol. 42. – P. 685–690. – DOI: 10.1016/j.procir.2016.02.302.

13. Tsai H.C., Yan B.H., Huang F.Y. EDM performance of Cr/Cu-based composite electrodes // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2003. – Vol. 43, iss. 3. – P. 245–252. – DOI: 10.1016/S0890-6955(02)00238-9.

14. Relationship between occurrence of material removal and bubble expansion in electrical discharge machining / S. Hayakawa, Y. Sasaki, F. Itoigawa, T. Nakamura // Procedia CIRP. – 2013. – Vol. 6. – P. 174–179. – DOI: 10.1016/j.procir.2013.03.095.

15. Шлыков Е.С., Сиротенко Л.Д. Особенности обработки биметаллических материалов электродами с разными физико-механическими свойствами // Журнал магистров. – 2016. – № 1. – С. 199–203.

16. Плошкин В.В. Структурные и фазовые превращения в поверхностных слоях сталей при электроэрозионной обработке: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2006. – 281 с.

17. Tao J., Ni J., Shih A.J. Modeling of the anode crater formation in electrical discharge machining // Journal of Manufacturing Science and Engineering. – 2012. – Vol. 134 (1). – P. 011002. – DOI: 10.1115/1.4005303.

18. Dey S., Roy D.C. Experimental study using different tools/electrodes E.G. copper, graphite on M.R.R of E.D.M process and selecting the best one for maximum M.R.R in optimum condition // International Journal of Modern Engineering Research. – 2013. – Vol. 3, iss. 3. – P. 1263–1267.

19. Weingärtner E., Kuster F., Wegener K. Modeling and simulation of electrical discharge machining // Procedia CIRP. – 2012. – Vol. 2. – P. 74–78. – DOI: 10.1016/j.procir.2012.05.043.

20. Janmanee P., Muttamara A. Performance of difference electrode materials in electrical discharge machining of tungsten carbide // Energy Research Journal. – 2010. – Vol. 1, iss. 2. – P. 87–90. – DOI: 10.3844/erjsp.2010.87.90.

21. Abbas N.M., Solomon D.G., Bahari Md. F. A review on current research trends in electrical discharge machining (EDM) // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2007. – Vol. 47. – P. 1214–1228. – DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2006.08.026.

22. Yeo S.H., Kurnia W., Tan P.C. Electro-thermal modelling of anode and cathode in micro-EDM // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2007. – Vol. 40 (8). – P. 2513–2521. – DOI: 10.1088/0022-3727/40/8/015.

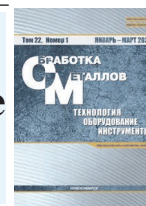
Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.



Obrabotka metallov - Metal Working and Material Science

Journal homepage: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Complex Analysis of the Process of Electrical Discharge Machining of Bimetallic Steel-Copper Material

Evgenii Shlykov^{a, *}, Timir Ablyaz^b

Perm National Research Polytechnical University, 29 Komsomolsky prospekt, Perm, 614990, Russian Federation

^a  <https://orcid.org/0000-0001-8076-0509>,  Kruspert@mail.ru, ^b  <https://orcid.org/0000-0001-6607-4692>,  lowrider11-13-11@mail.ru

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 7 December 2019

Revised: 19 December 2019

Accepted: 30 January 2020

Available online: 15 March 2020

Keywords:

Copy-piercing electrical discharge machining

Cutting conditions

Electrode

Bimetallic material

Funding

This work was supported by a grant from the President of the Russian Federation for state support of young Russian doctors of science No. MK-2072.2019.8

ABSTRACT

Introduction. The development of modern engineering necessitates the creation of materials with a combination of properties such as strength, corrosion resistance, heat conductivity, heat resistance, wear resistance, etc. In the manufacture of new types of products with a complex profile, bimetallic materials are widely used. For processing such products, it is advisable to use electrophysical processing methods, one of which is the technology of copy-piercing electrical discharge machining (EDM). Currently, the EDM method is one of the most common methods for processing modern materials. The paper is devoted to improving the efficiency of the EDM of bimetallic materials such as steel-copper. Subjects of research are: unevenness of the material removal of the treated surface, the roughness parameter during the EDM of a steel-copper type bimetallic material under various modes of electric discharge machining. **The aim of the work** is to increase the efficiency and accuracy of the EDM process of complex-profile bimetallic products electrode tool (ET) with various physical and mechanical properties. **Methods.** Experimental studies were carried out according to the classical experiment. For the experiments, a copy-piercing electrical discharge EDM machine Smart CNC was used. As a bimetallic processed product, a steel substrate with a deposited coating was used. The base material is steel 09G2S, the surfacing material is M1 copper. As electrode electrodes used: steel 20; duralumin grade D16; copper M2. **Results and Discussion.** A theoretical model is developed that allows one to calculate the amount of removal of the bimetallic material for steel-copper removal depending on the regimes of EDM and material ET. The convergence of the theoretical model with the results of experimental studies is 15%. An experimental study was made of the wear of ET during the EDM of a bimetallic steel-copper material depending on the modes of EDM and the material of the ET. It is established that during EDM of copper ET in the med and max modes, the wear of ET is minimal and amounts to 0.03 - 0.05 mm, respectively. The roughness parameters are calculated and the treated surface of the bimetallic steel-copper EDM bimetallic material is analyzed at different modes of processing ET with various electrophysical properties.

For citation: Shlykov E.S., Ablyaz T.R. Complex Analysis of the Process of Electrical Discharge Machining of Bimetallic Steel-Copper Material. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2020, vol. 22, no. 1, pp. 16–26. DOI: 10.17212/1994-6309-2020-22.1-16-26. (In Russian).

References

1. Zhivushkin A.A., Kozlova E.A., Chubukov I.A., Marova A.Yu. Osobennosti primeneniya kompozitsionnogo materiala “alyuminii – nitrid bora” v aviatsionnykh dvigatelyakh [Features of application of aluminium – boron nitride composite material in aviation engines]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta = Vestnik of Samara University: Aerospace and Mechanical Engineering*, 2009, no. 3 (19), pp. 235–239.
2. Golovanenko S.A., Meandrov L.V. *Proizvodstvo bimetallov* [Bimetal production]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1966. 132 p.
3. Matveev A.S., Matveev M.S. Osobennosti primeneniya konstruktsionnykh materialov pri izgotovlenii elektrodov vakuumnykh priborov [The structural materials features for manufacture vacuum equipment's electrodes]. *Konstruktsii iz kompozitsionnykh materialov = Composite Materials Constructions*, 2010, no. 2, pp. 28–31.

* Corresponding author

Shlykov Evgenii S., Ph.D. (Engineering), Associate Professor
 Perm National Research Polytechnical University,
 29 Komsomolsky prospekt,
 614990, Perm, Russian Federation
 Tel.: 8 (342) 2-198-324, e-mail: Kruspert@mail.ru

4. Gritsyuk V.G. *Rezhimy i tekhnologiya obrabotki bimetallov s nalozheniem elektricheskogo polya*. Diss. kand. tekhn. nauk [Modes and processing technology of bimetal with the application of an electric field. PhD eng. sci. diss.]. Voronezh, 2005. 201 p.
5. Neulybin S.D., Shitsyn Yu.D., Kuchev P.S., Gilev I.A. Plazmennaya naplavka medi na stal' na toke obratnoi polynarnosti [Plasma surfacing of copper on steel at opposite polarity current]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk = Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2014, vol. 16, no. 1–2, pp. 468–471.
6. Ablyaz T.R., Khanov A.M., Khurmatullin O.G. *Sovremennye podkhody k tekhnologii elektroerozionnoi obrabotki materialov* [Modern approaches to the technology of electric discharge machining of materials]. Perm', 2012. 112 p.
7. Pogonin A.A., Boiko A.F., Blinova T.A. Dispersnyi analiz produktov elektroerozionnoi pretsizionnoi obrabotki [The disperse analysis of products of electroerosive precision processing]. *Tekhnologiya Mashinostroeniya = Engineering Technology*, 2010, no. 6, pp. 26–28.
8. Slyusarev M.V. Issledovanie parametrov kachestva bimetallicheskih listov [The study of the quality parameters of bimetallic sheets]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 9, Issledovaniya molodykh uchenykh = Science Journal of Volgograd State University. Young Scientists' Research*, 2007, no. 6, pp. 176–182.
9. Lee H.T., Tai T.Y. Relationship between EDM parameters and surface crack formation. *Journal of Materials Processing Technology*, 2003, vol. 142, iss. 3, pp. 676–683. DOI: 10.1016/S0924-0136(03)00688-5.
10. Das S., Klotz M., Klocke F. EDM simulation: finite element-based calculation of deformation, microstructure and residual stresses. *Journal of Materials Processing Technology*, 2003, vol. 142, iss. 2, pp. 434–451. DOI: 10.1016/S0924-0136(03)00624-1.
11. Zhurin A.V. *Metody rascheta tekhnologicheskikh parametrov i elektrodov-instrumentov pri elektroerozionnoi obrabotke*. Diss. kand. tekhn. nauk [Methods for calculating process parameters and tool electrodes in EDM. PhD eng. sci. diss.]. Tula, 2005. 132 p.
12. Tang J., Yang X. A thermo-hydraulic modeling for the formation process of the discharge crater in EDM. *Procedia CIRP*, 2016, vol. 42, pp. 685–690. DOI: 10.1016/j.procir.2016.02.302.
13. Tsai H.C., Yan B.H., Huang F.Y. EDM performance of Cr/Cu-based composite electrodes. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2003, vol. 43, iss. 3, pp. 245–252. DOI: 10.1016/S0890-6955(02)00238-9.
14. Hayakawa S., Sasaki Y., Itoigawa F., Nakamura T. Relationship between occurrence of material removal and bubble expansion in electrical discharge machining. *Procedia CIRP*, 2013, vol. 6, pp. 174–179. DOI: 10.1016/j.procir.2013.03.095.
15. Shlykov E.S., Sirotenko L.D. Osobennosti obrabotki bimetallicheskih materialov elektrodami s raznymi fiziko-mekhanicheskimi svoystvami [Special aspects of bimetal processing with electrode with physical and mechanical properties]. *Zhurnal magistrrov = Masters Journal*, 2016, no. 1, pp. 199–203.
16. Ploshkin V.V. *Strukturnye i fazovye prevrashcheniya v poverkhnostnykh sloyakh stalei pri elektroerozionnoi obrabotke*. Diss. kand. tekhn. nauk [Structural and phase transformations in the surface layers of steels during electrical discharge machining. PhD eng. sci. diss.]. Moscow, 2006. 281 p.
17. Tao J., Ni J., Shih A.J. Modeling of the anode crater formation in electrical discharge machining. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 2012, vol. 134 (1), p. 011002. DOI: 10.1115/1.4005303.
18. Dey S., Roy D.C. Experimental study using different tools/electrodes E.G. copper, graphite on M.R.R of E.D.M process and selecting the best one for maximum M.R.R in optimum condition. *International Journal of Modern Engineering Research*, 2013, vol. 3, iss. 3, pp. 1263–1267.
19. Weingärtner E., Kuster F., Wegener K. Modeling and simulation of electrical discharge machining. *Procedia CIRP*, 2012, vol. 2, pp. 74–78. DOI: 10.1016/j.procir.2012.05.043.
20. Janmanee P., Muttamara A. Performance of difference electrode materials in electrical discharge machining of tungsten carbide. *Energy Research Journal*, 2010, vol. 1, iss. 2, pp. 87–90. DOI: 10.3844/erjsp.2010.87.90.
21. Abbas N.M., Solomon D.G., Bahari Md. F. A review on current research trends in electrical discharge machining (EDM). *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2007, vol. 47, pp. 1214–1228. DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2006.08.026.
22. Yeo S.H., Kurnia W., Tan P.C. Electro-thermal modelling of anode and cathode in micro-EDM. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2007, vol. 40 (8), pp. 2513–2521. DOI: 10.1088/0022-3727/40/8/015.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2020 The Authors. Published by Novosibirsk State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).