

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

УДК 621.9.048:629.048.6

DOI: 10.34759/vst-2021-1-187-199

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКЕ

Богданов К.А.

*НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева,
3-й проезд Марьиной Рощи, 40, Москва, 127018, Россия
e-mail: kab1002@bk.ru*

Статья поступила в редакцию 15.11.2019

Проведены экспериментальные исследования комбинированной электроэрозионной прошивки отверстий малого диаметра с наложением внешних ультразвуковых колебаний. Исследования проводятся путём сравнения времени прошивки отверстий, полученных при традиционной электроэрозионной обработке без наложения ультразвуковых колебаний, и отверстий, полученных при электроэрозионной обработке с наложением ультразвуковых колебаний и с учетом зависимости от схемы подачи рабочей жидкости, входных параметров электроэрозионной и ультразвуковой установок, материала электрода-инструмента и вида обрабатываемых деталей. Проведена обработка данных на основании результатов прошивки около 1670 отверстий различных диаметров электродов из латуни и вольфрама. Сравнительный анализ традиционной электроэрозионной обработки отверстий и электроэрозионной обработки с различными схемами наложения ультразвуковых колебаний позволил найти эффективную технологию, при которой непосредственное наложение ультразвука на электрод-инструмент, а также подача рабочей жидкости поливом в зону обработки способствуют наилучшему удалению продуктов эрозии из зоны обработки и повышают производительность процесса при сохранении точности позиционирования прошиваемых отверстий. Проведена оценка шероховатости поверхности отверстий, полученных методом электроэрозионной обработки с наложением ультразвуковых колебаний на электрод-инструмент и подачей рабочей жидкости поливом в зону обработки.

Ключевые слова: внешнее ультразвуковое поле, оценка качества обработанной поверхности отверстий малого диаметра, графическая интерпретация численных значений.

Введение

Электроэрозионная обработка (ЭЭО) является одним из наиболее распространённых способов, применяемых при изготовлении деталей сложной

формы из труднообрабатываемых материалов (твёрдых сплавов, жаропрочных сталей и сплавов, закалённых сталей) и одним из наиболее эффек-

тивных методов получения отверстий малого диаметра в труднообрабатываемых материалах [1].

Электроэрозионная прошивка обеспечивает возможность получения отверстий диаметром менее 0,1 мм [2]. Анализ показывает, что охлаждающие и функциональные отверстия такого типа весьма распространены в конструкциях деталей ракетных и авиационных двигателей, таких, как лопатки турбины и соплового аппарата, экраны и кольцевые детали камеры сгорания, детали топливной аппаратуры.

Для совершенствования технологического процесса изготовления деталей авиадвигателей предлагаются новые технологические решения, связанные с использованием аддитивных технологий. Предложена возможность использования электрода-инструмента (ЭИ), изготовленного на 3D-принтере, с последующей металлизацией его рабочей поверхности. Основное внимание уделено исследованию процесса электроосаждения металла на пластмассовую форму. Разработана компьютерная модель процесса электрохимического формирования металлических покрытий повышенной толщины на форму ЭИ, изготовленную из полимерных материалов [3].

Механические методы их изготовления в деталях из жаропрочных сплавов с коэффициентом обрабатываемости резанием 0,05–0,1 не применимы, поэтому на большинстве предприятий используют операции электроэрозионной прошивки одиночными электродами-инструментами (из меди, латуни или вольфрама) [4].

С применением электроэрозионного прошивочного оборудования появилась возможность получения в охлаждаемых лопатках турбины отверстий с диаметром 0,2–0,3 мм на глубину 10 мм. В авиационной промышленности значительный интерес представляет разработка эффективных технологий и оборудования для перфорации лопаток [5].

ЭЭО является четвертой наиболее используемой в мире технологией. Продажи электроэрозионных станков с 0,5% в 1960 г. возросли до 12% рынка металлообрабатывающих станков в 2019 г.

По публикациям в материалах международной конференции-симпозиуме по передовой науке и технике в экспериментальной механике (ISEM) наблюдается устойчивое возрастание числа публикаций по ЭЭО. Это свидетельствует о развитии и востребованности данного метода обработки и технологии на его основе в мировом технологическом пространстве. Между тем ежегодное число отечественных публикаций начиная с 1998 г. неуклонно снижается. По данным ISEM резко снизилась доля нашей страны в публикациях на мировом уровне (рис. 1), в то время как доля Германии и Японии, ведущих индустриальных держав, сохраняет устойчивый уровень и доля Китая заметно увеличилась начиная с 90-х гг. [6].

Основная проблема развития ЭЭО отверстий малого диаметра заключается в повышении производительности данной технологии. Эта проблема тесно связана с развитием представлений о процессах эвакуации продуктов эрозии из межэлектрод-

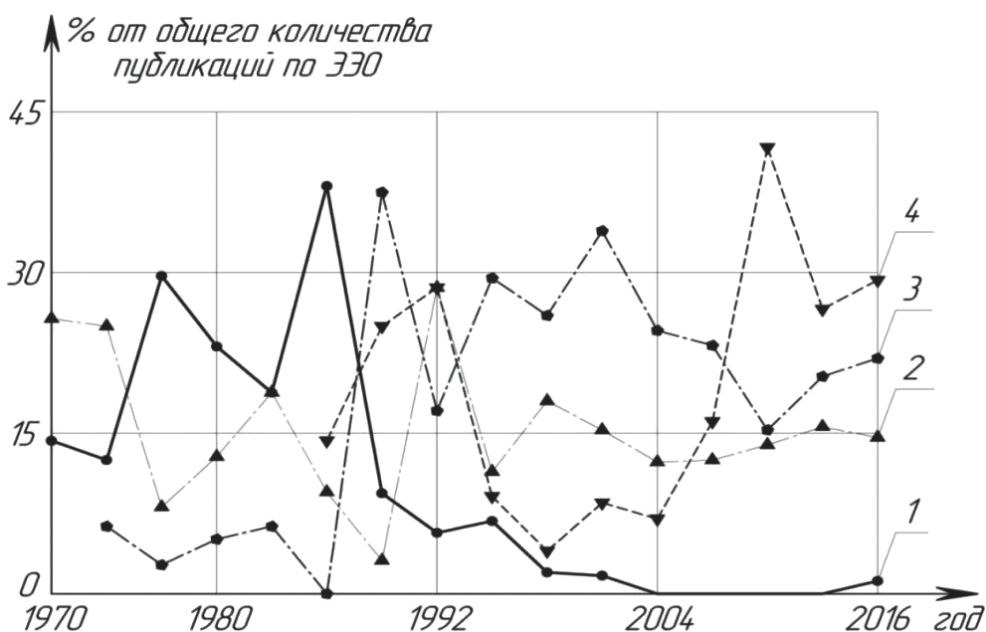


Рис. 1. Данные ISEM по числу публикаций по ЭЭО [6]: 1 – Россия; 2 – Германия; 3 – Япония; 4 – Китай

ного промежутка (МЭП). При прошивке отверстий малого диаметра на большую глубину возникают проблемы с эвакуацией продуктов эрозии из МЭП, с подводом смазочно-охлаждающей жидкости и выводом стружки из обрабатываемого отверстия [7].

МЭП в зависимости от энергии импульса лежит в пределах от 10 до 100 мкм, поэтому естественная эвакуация продуктов эрозии затруднена [8].

Частицы расплавленного металла, выброшенные в рабочую жидкость (РЖ), затвердевают и вместе с пузырьками газа и продуктами термического разложения рабочей жидкости образуют многофазную среду. Форма твёрдых продуктов материала электродов близка к сферической, часто образуются полые сферы. С возрастанием энергии разряда средний радиус частиц увеличивается. Накопление в МЭП продуктов эрозии приводит к прохождению разрядов между электродами через продукты эрозии. В результате часть энергии разряда расходуется на диспергирование продуктов эрозии, из-за чего снижается производительность процесса. Накопление продуктов эрозии в МЭП приводит к нежелательному изменению свойств рабочей жидкости и к дестабилизации процесса. При обработке форма и размеры электрода-инструмента нарушаются из-за износа и электрод постепенно разрушается под влиянием электротеплового воздействия искры. При касании электродом скопления металлических продуктов эрозии происходит короткое замыкание (КЗ), на обрабатываемой поверхности образуются прижоги и увеличивается глубина дефектного слоя [9].

Решить указанную задачу можно воздействием ультразвуковых колебаний (УЗК) на процесс ЭЭО отверстий малого диаметра [10]. Конкретные исследования качества обработанной поверхности при использовании УЗК и соответствующие технологические рекомендации практически отсутствуют.

Вместе с тем разработка методов и средств увеличения производительности ЭЭО остаётся одним из основных условий сохранения и повышения её конкурентоспособности [11].

Все большее значение приобретают разработка и применение методов и процедур структурной и параметрической оптимизации технологий ЭЭО [12].

В [13, 14] исследован процесс электроэрозионной обработки с наложением ультразвуковых

колебаний отверстий диаметром 150 мкм в пластине из коррозионностойкой стали толщиной 1 мм. Частота УЗК составляла 20 кГц, амплитуда 1–10 мкм, колебания накладывались как на ЭИ, так и на деталь [7].

В работе И.Б. Ставицкого проанализированы различные способы повышения производительности ЭЭО прецизионных глубоких отверстий путём интенсификации выноса продуктов эрозии их МЭП. Автором сделан вывод о предпочтительности использования прокачки рабочей жидкости через тело вращающегося ЭИ, как наиболее эффективного способа эвакуации [15].

А.В. Владыкиным [16] исследовалась взаимосвязь гидродинамических и электрических параметров процесса прошивки глубоких отверстий диаметром более 0,4 мм трубчатым ЭИ. Известны исследования Е.И. Пузачёвой и Т.А. Блиновой [17, 18], направленные на совершенствование и оптимизацию процесса электроэрозионной прошивки отверстий диаметром менее 0,2 мм по различным критериям (производительность, качество поверхностного слоя, износ ЭИ). Авторы сходятся во мнении о том, что воздействие ультразвукового (УЗ) поля на процесс электроэрозионной прошивки способствует повышению производительности. Однако ни в одной из перечисленных работ не предложено ни теоретическое, ни гипотетическое описание процессов, происходящих в МЭП при наложении УЗ-колебаний и способствующих интенсификации электроэрозионной обработки. Суммируя изложенное, можно заключить, что вынос продуктов эрозии из зоны обработки существенным образом влияет на протекание процесса электроэрозионного съёма материала и для некоторых групп деталей данный вопрос является открытым [7].

К настоящему времени средствами ЭЭО удаётся надёжно обрабатывать объекты по 6-му и 7-му уровням точности, достигать параметра шероховатости $Ra = 1,25$ мкм и ниже. Это позволяет использовать технологии ЭЭО для изготовления миниатюрных объектов с размерами порядка 10 мкм [19].

Так, компания Fanuc Robocut сообщает о возможности финишной обработки некоторых объектов с точностью 0,05 мкм на станке Alpha-OiSp. В обозримом будущем применение ЭЭО в области микро- и нанообработки будет расширяться. Сломанный осевой инструмент часто извлекают с применением операций электроэрозионной прошивки. Для этой цели используют су-

ществующие эрозионные станки или создают специальное оборудование. Так, компания Joemars Machinery (Тайвань) предлагает на рынке оборудования портативную переносную установку TR100 Tap broken remover, предназначенную для удаления сломанного осевого инструмента и прошивки исходных отверстий для проволочно-вырезных работ [20].

Обладая широкими компетенциями в области ЭЭО, НПО «Техномаш» (Россия) с 1965 г. создаёт пользующееся спросом отечественное оборудование и технологии для предприятий ракетно-космической отрасли:

— пятикоординатные станки ЭПП-1—ЭПП-5, ЭПП-8 электроэрозионного формообразования отверстий малого диаметра в форсунках камер сгорания двигательных установок;

— четырёхкоординатный станок ЭП-310П электроэрозионный прошивочный с возможностью наложения УЗК.

Сегодня ЭЭО стала средством для получения недорогой высокоточной продукции в инструментальном и основном производстве. В настоящее время 3 из 10 электроэрозионных станков закупаются для производства деталей основного производства, а остальные — для инструментального производства. Наблюдается тенденция увеличения применения ЭЭО в основном производстве, особенно в опытном. Это связано с тем, что электроэрозионная обработка даёт значительный выигрыш за счёт снижения трудоёмкости подготовки производства, универсальности, высокой точности. Преимуществом электроэрозионной обработки является то, что при её использовании путь от чертежа до готовой детали значительно сокращается. Это позволяет ускорить производство новых образцов изделий [21].

Экспериментальные исследования комбинированной электроэрозионной прошивки отверстий малого диаметра с наложением внешних ультразвуковых колебаний

Комбинированный метод обработки основан на совмещении теплового действия импульсов электрического тока, непрерывно подводимых к участку обрабатываемой заготовки, с вынуждающим воздействием УЗК для эвакуации продуктов эрозии из МЭП.

Целью проведённых исследований является определение количественной характеристики показателя шероховатости при обработке отверстий малого диаметра методом ЭЭО с наложением УЗК на обрабатываемую деталь или ЭИ.

Для проведения экспериментальных исследований в качестве обрабатываемого материала выбрана коррозионноустойчивая сталь аустенитного класса марки 12Х18Н10Т.

Данная сталь устойчива против окисления на воздухе и в среде продуктов сгорания топлива при температурах до 800 °С (жаростойкость), обладает высокой пластичностью и ударной вязкостью, поэтому находит широкое применение в ракетно-космической, авиационной и других отраслях промышленности.

Для повышения точности при сквозной прошивке отверстий малого диаметра в работе используется направляющая кондукторная втулка, изготовленная из износостойкого диэлектрического материала, через которую подаётся и закрепляется ЭИ.

На основании предварительных исследований по выбору РЖ предпочтение отдано синтетической диэлектрической жидкости IonoPlus IME-MH для координатно-прошивочных станков, которая применяется на чистой и получистой обработке. РЖ подаётся принудительно через направляющую втулку.

Перед началом экспериментов проводились исследования по выбору источников УЗ-поля. Рассматривались пьезокерамические и магнито-стрикционные источники УЗ-поля. На основании ранее проведённых опытов выбран магнито-стрикционный преобразователь, обладающий более широким диапазоном настройки амплитуды колебаний.

Время обработки фиксировалось тарированным секундомером, износ инструмента фиксировали по касанию поверхности детали до и после обработки.

Перед проведением экспериментальных исследований проанализированы различные схемы воздействия УЗ-поля на процесс ЭЭО (рис. 2—4), где 1 — ванна с РЖ; 2 — обрабатываемая деталь (пластина, форсунка); 3 — ультразвуковой излучатель; 4 — ЭИ; 5 — привод подачи рабочего хода ЭИ; 6 — узел крепления обрабатываемой детали; 7 — узел крепления направляющей втулки.

Простой в реализации является схема наложения УЗК на РЖ, проходящую через ультразвуковой инструмент, который находится на малом расстоянии от зоны обработки (рис. 2, 5). В данной схеме проблемы, связанные с жёсткостью ЭИ, малозначимы. Однако приведённая схема не гарантирует эффективную передачу УЗК, способных внести определяющий вклад в прошивку отверстия.

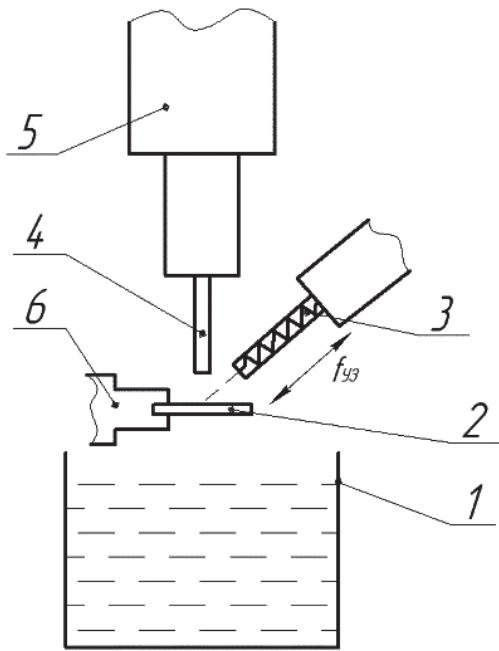


Рис. 2. Схема наложения УЗК на жидкость, проходящую через ультразвуковой инструмент

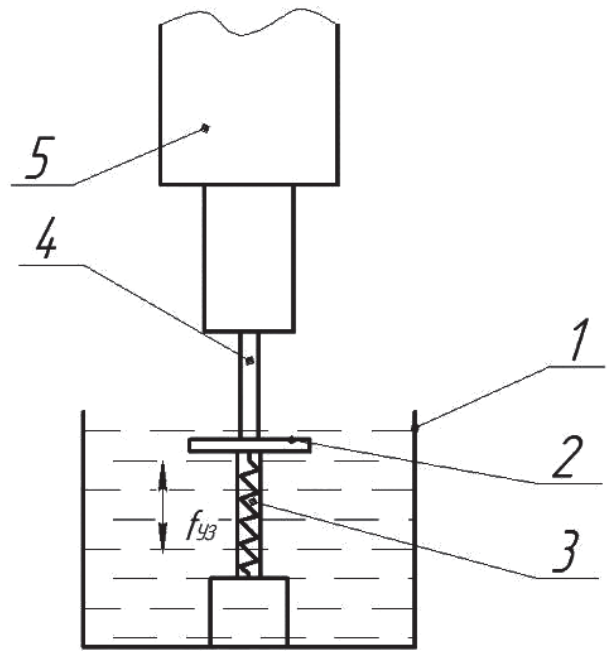


Рис. 3. Схема наложения УЗК на обрабатываемую деталь

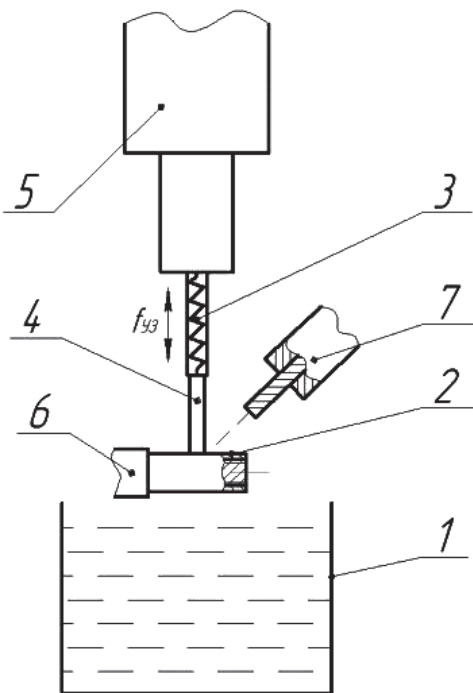


Рис. 4. Схема наложения УЗК на ЭИ

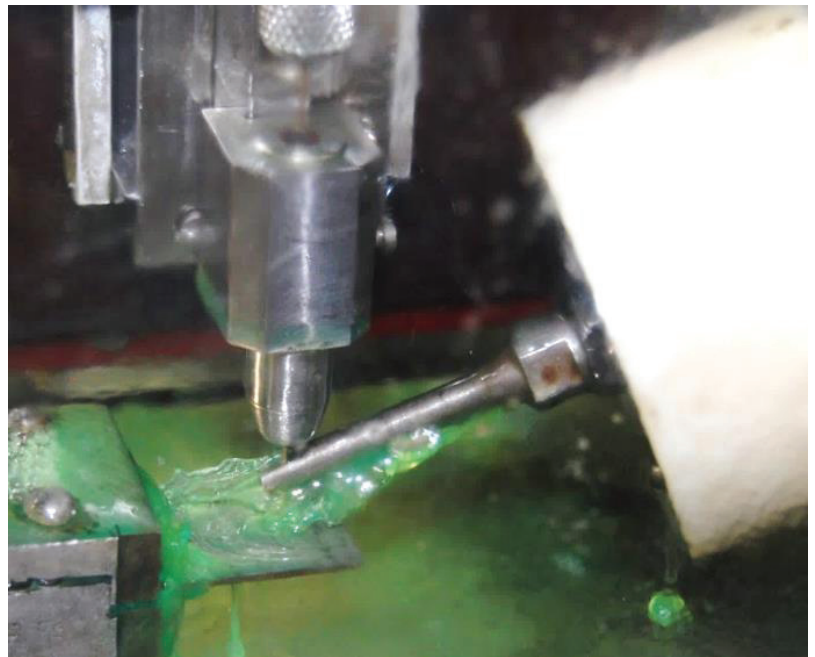


Рис. 5. Наложение УЗК на жидкость, проходящую через ультразвуковой инструмент

Ещё одна схема позволяет накладывать УЗК на обрабатываемую деталь, которую закрепляют на торце ультразвукового инструмента и погружают в ванну с РЖ (рис. 3, 6). Посредством УЗК в жидкости приходят в возбуждение механические УЗ-частоты, которые способствуют эвакуации продуктов эрозии из МЭП. Распределение УЗК по всей площади обрабатываемой детали неравно-

мерно, и интенсивность эвакуации продуктов обработки меньше в периферийной области детали.

Наиболее производительной схемой наложения УЗ-поля является вариант с наложением УЗК на ЭИ (рис. 4, 7). Главной особенностью приведённой схемы является возможность обработки тел вращения (форсунок) и плоских деталей (пластинок). РЖ подаётся в зону обработки поливом.

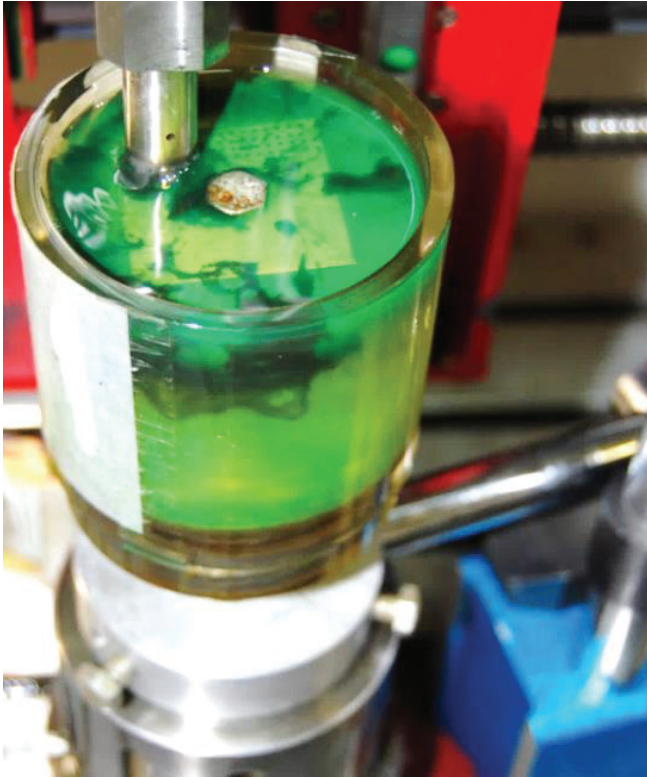


Рис. 6. Наложение УЗК на обрабатываемую деталь

Результаты экспериментов позволяют сравнить методы ЭЭО по технологическим показателям длительности обработки и качества полученной поверхности и тем самым дают представление о влиянии УЗК на производительность, точность и качество электроэрозионной прошивки отверстий малого диаметра.

Изменение входных параметров ЭЭО производится за счёт смены режимов системы слежения и управления генератором через программное обеспечение в компьютере.

Исследования проводятся путём сравнения значений времени прошивки отверстий, полученных при ЭЭО без наложения УЗ и при ЭЭО с УЗ и с учетом зависимости от схемы подачи РЖ, входных параметров электроэрозионной установки, материала ЭИ и вида обрабатываемых деталей.

Прошивка отверстий осуществляется латунными ЭИ (диаметр 0,7 мм) и вольфрамовыми ЭИ (диаметры 1 и 3 мм). Образцы, подвергающиеся обработке, представляют собой форсунки, толщина стенок которых составляет 1 мм, и пластины толщиной 1 и 3 мм из коррозионностойкой стали (12Х18Н10Т).

В процессе электроэрозионной прошивки отверстий выявлено множество случайных факторов, влияющих на результат. В связи с этим про-

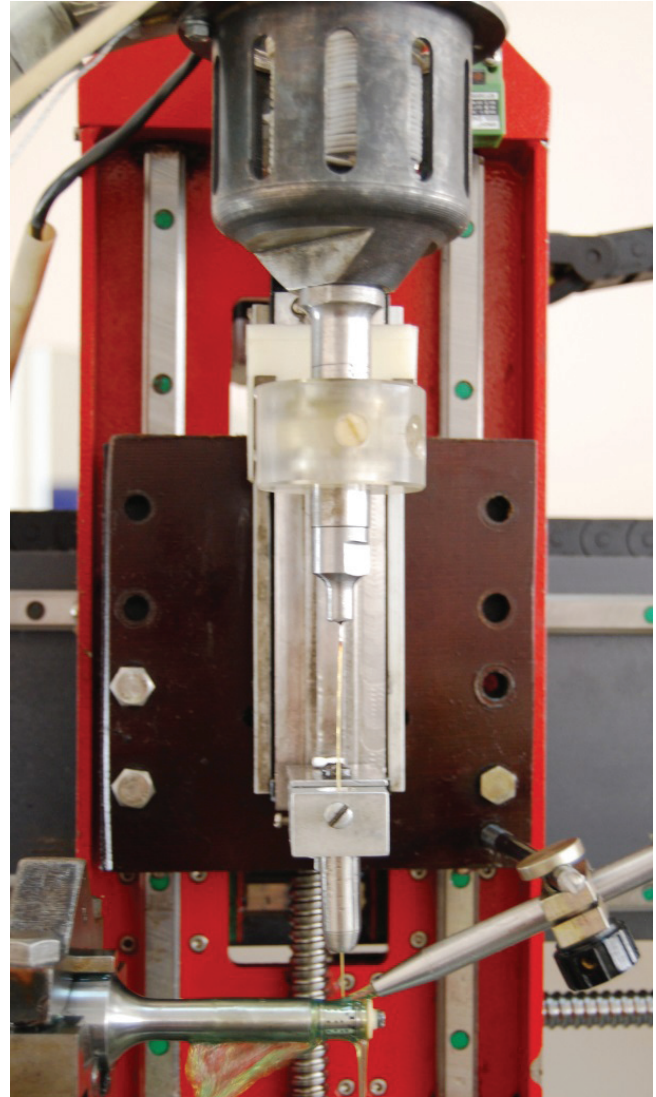
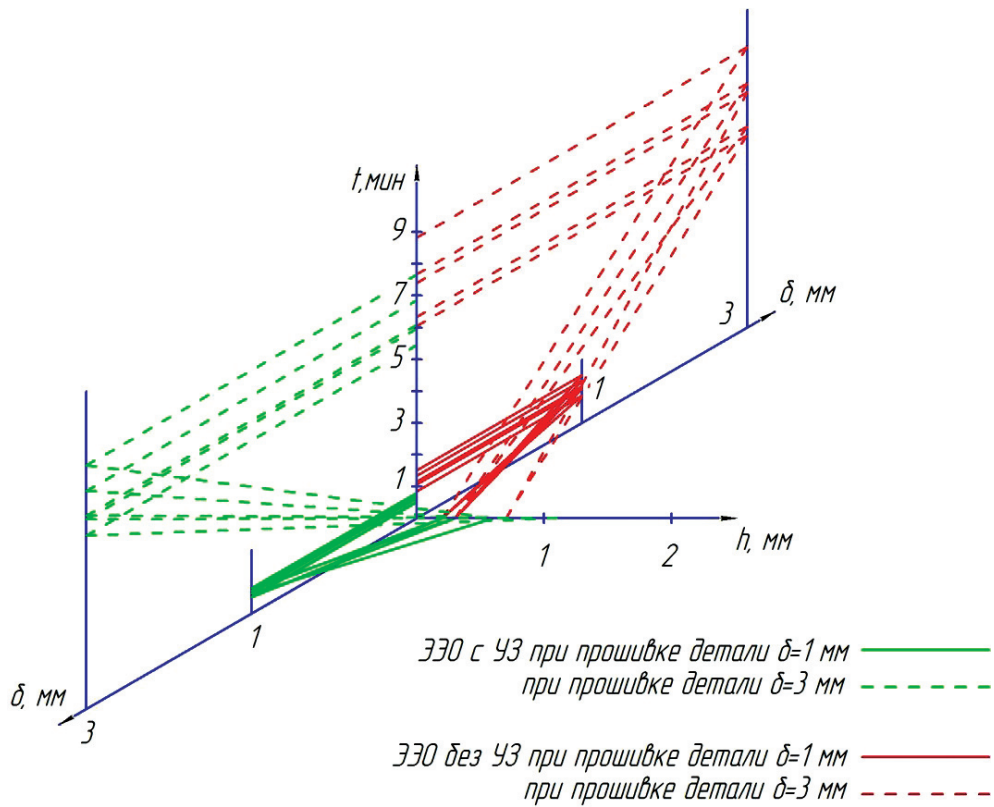


Рис. 7. Наложение УЗК на ЭИ

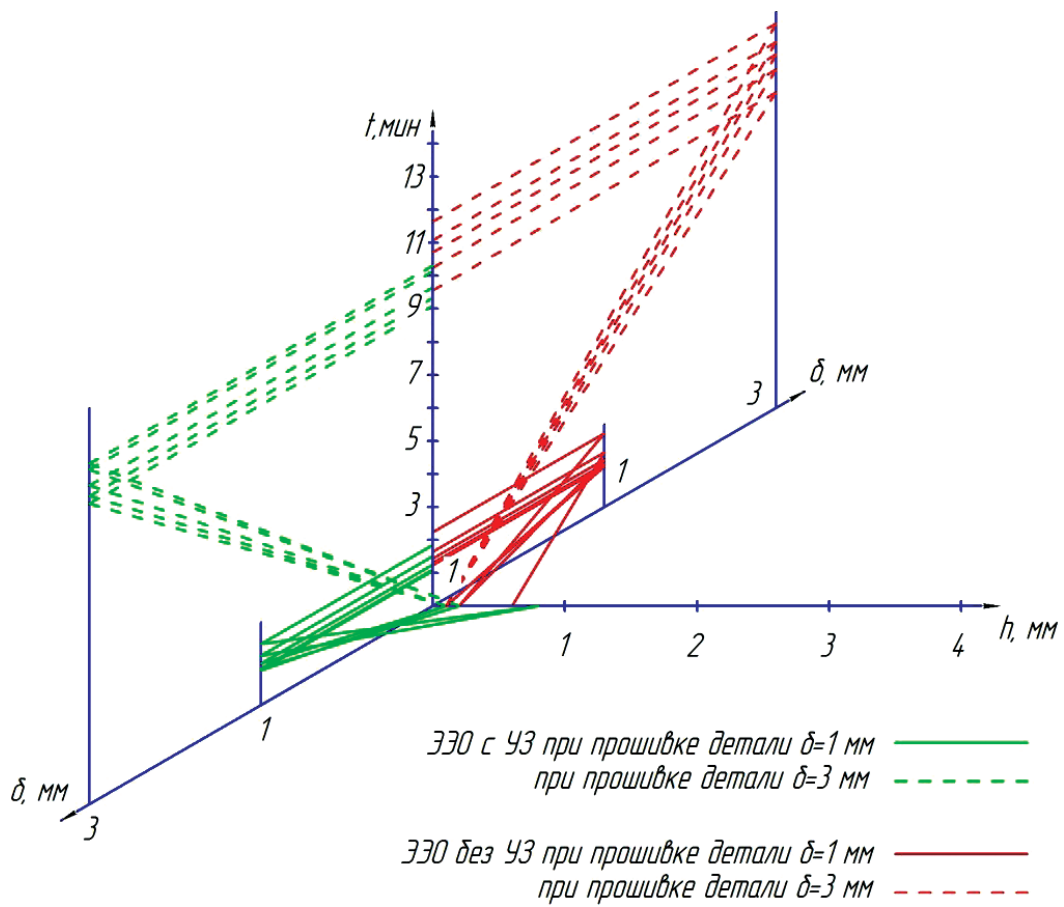
ведена обработка данных на основании результатов прошивки около 1670 отверстий различных диаметров электродами из латуни и вольфрама.

Результаты сравнительного анализа двух методов ЭЭО графически интерпретированы на рис. 8 для вольфрамового ЭИ и рис. 9 для латунного ЭИ в виде проекций зависимости времени обработки к толщине стенки обрабатываемой детали и соответствующему износу ЭИ, где t – время обработки; δ – толщина стенки обрабатываемой детали; h – износ ЭИ.

Наиболее явное уменьшение времени обработки отверстий в образцах пластин и форсунок наблюдается при наложении УЗК на латунный ЭИ (рис. 9) по сравнению с традиционной ЭЭО благодаря интенсивному воздействию УЗК на скорость эвакуации продуктов эрозии из МЭП, что повышает производительность комбинированного



а)



б)

Рис. 8 (начало)

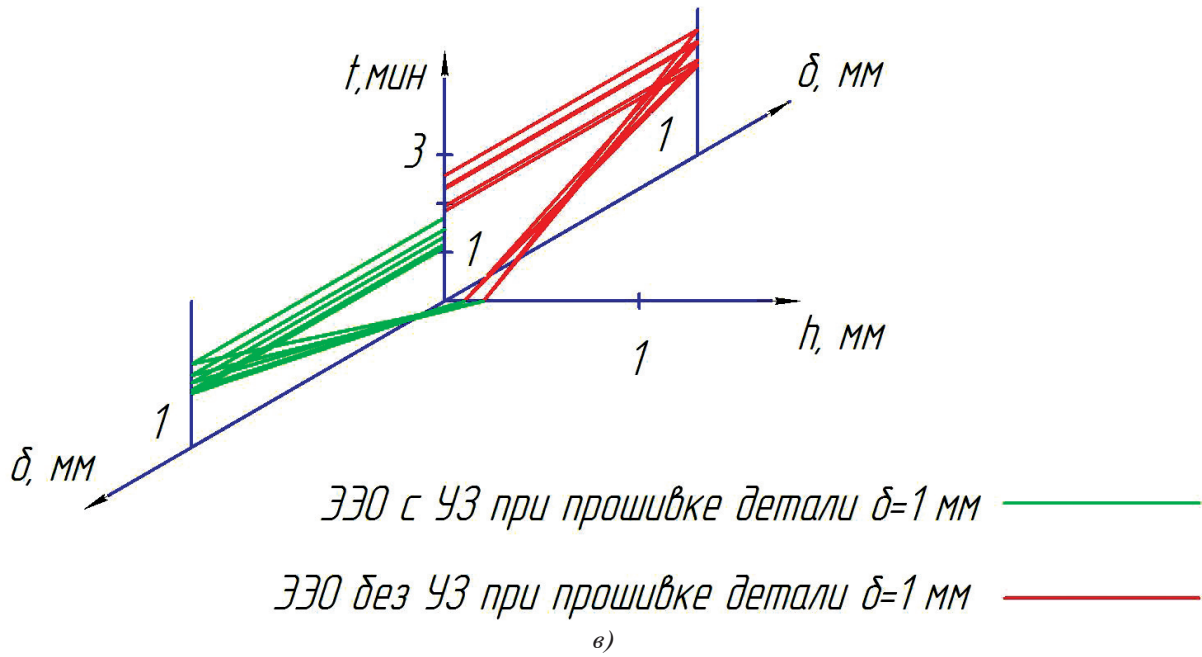


Рис. 8. Сравнение двух методов ЭЭО при прошивке отверстий вольфрамовым ЭИ при наложении УЗК на деталь: в пластинах (а — диаметр 1 мм; б — диаметр 3 мм); в форсунках (в — диаметр 3 мм)

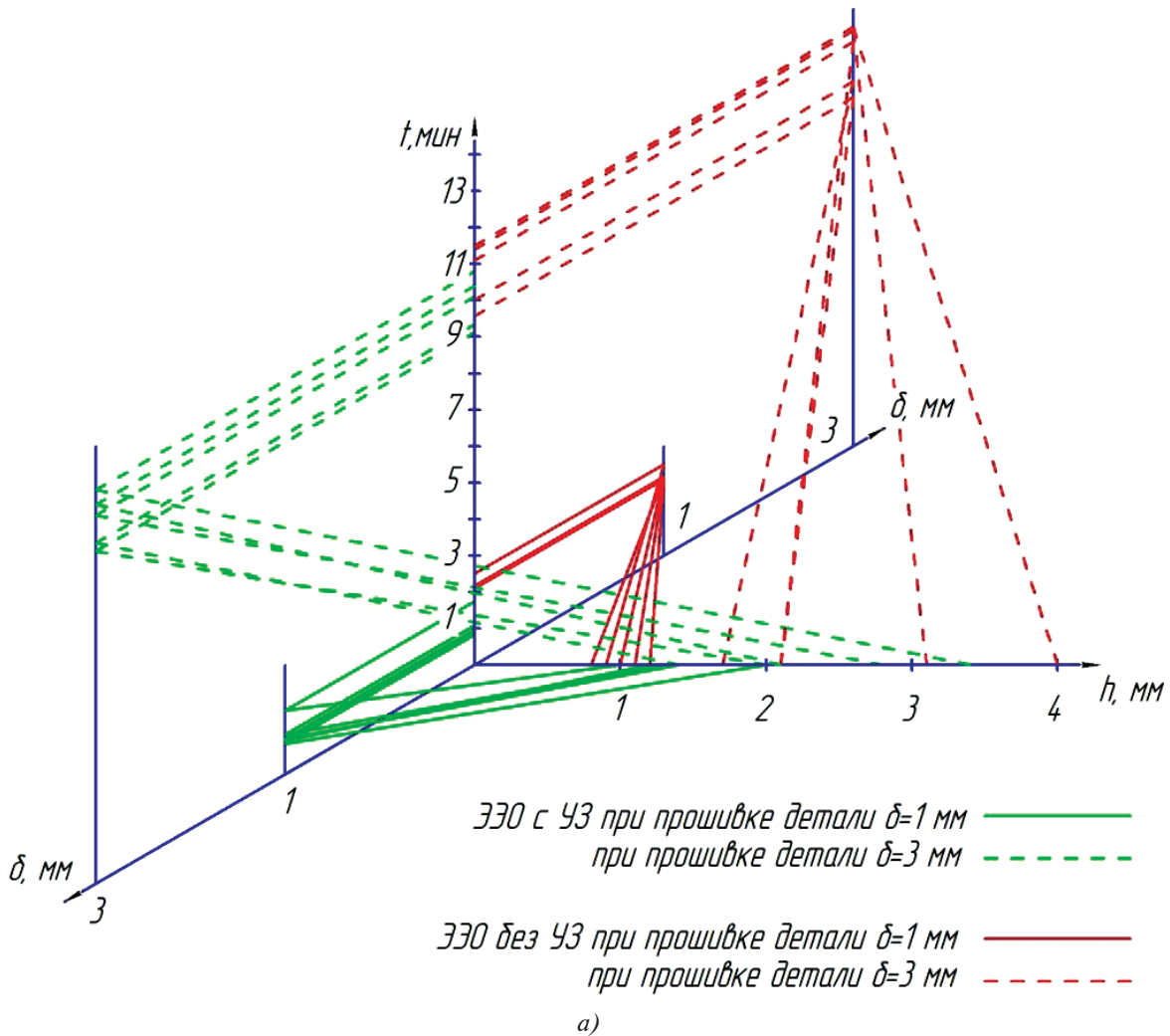
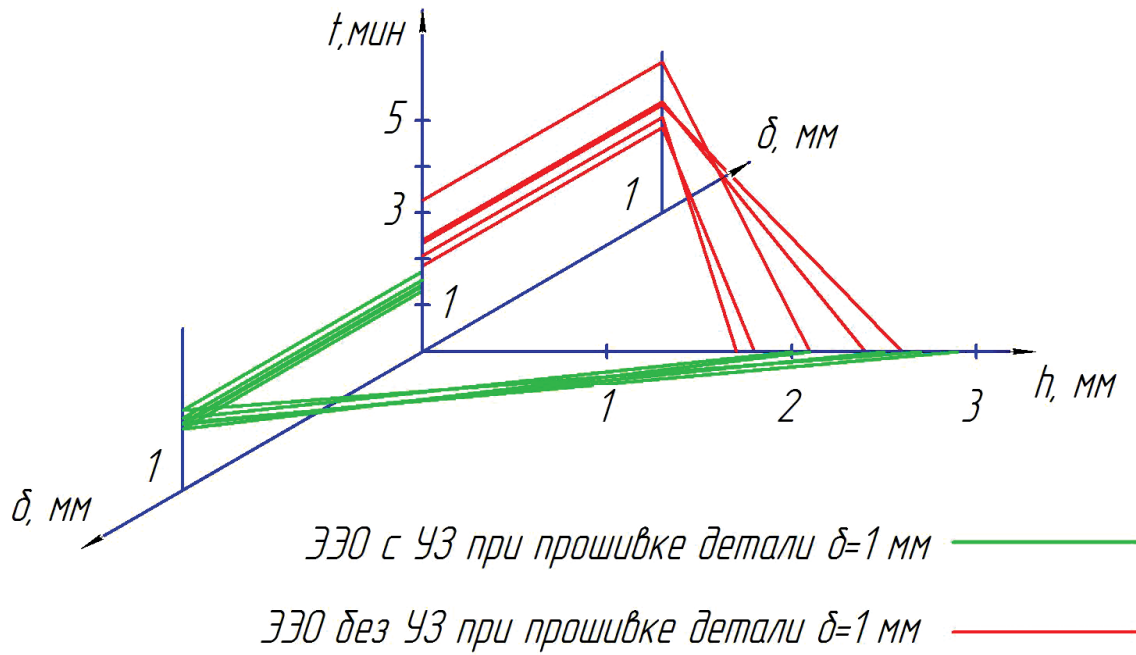


Рис. 9 (начало)



б)

Рис. 9. Сравнение двух методов ЭЭО при прошивке отверстий латунным ЭИ при наложении УЗК на ЭИ: а — в пластинах; б — в форсунках

метода обработки. Торцевой МЭП перед каждым разрядом заполнен РЖ, а содержание твёрдых и газообразных включений в нем при ЭЭО с УЗ существенно меньше за счёт выбивания продуктов эрозии высокочастотными колебаниями. Приведённый факт определяет более быструю прошивку отверстий по сравнению с прошивкой традиционной ЭЭО.

Преимуществом высокочастотных колебаний ЭИ или обрабатываемой детали является отсутствие приваривания ЭИ к детали при ЭЭО.

Проведёнными экспериментальными исследованиями установлено, что сообщение ЭИ высокочастотных колебаний приводит к повышению производительности процесса благодаря предотвращению КЗ между ЭИ и обрабатываемой деталью.

Графические интерпретации полученных численных значений позволили дать количественную оценку взаимосвязи времени обработки и износа ЭИ с учётом различных схем наложения УЗК при прошивке отверстий в образцах пластин и форсунок. Приведённые доводы свидетельствуют о прямой зависимости производительности ЭЭО от скорости эвакуации продуктов эрозии из МЭП.

Описанные свойства УЗК делают исключительным процесс ЭЭО отверстий малого диаметра, в которых естественная эвакуация продуктов обработки из МЭП затруднена.

В целях исследования шероховатости обработанных поверхностей детали разрезались на элек-

троэрозионном оборудовании электродом-проволокой, толщиной 0,25 мм, вдоль осей полученных отверстий.

Экспериментальные исследования по оценке влияния УЗК на шероховатость обработанной поверхности проводились с использованием портативного измерителя шероховатости TR200.

На рис. 10 продемонстрирована количественная оценка шероховатости по Ra при прошивке отверстий по методу ЭЭО с наложением УЗК на ЭИ, в пластинах толщиной 3 мм и форсунках толщиной 1,0 мм латунными ЭИ диаметром 0,7 мм и вольфрамовыми ЭИ диаметром 1 и 3 мм на разных режимах обработки при схеме подачи РЖ поливом в зону обработки.

Наложение УЗК на ЭИ способствует уменьшению шероховатости по сравнению с шероховатостью, получаемой традиционной ЭЭО, на 15–25% благодаря уменьшению количества прижогов и предотвращению КЗ.

Выводы

Проведённый сравнительный анализ при прошивке отверстий методами ЭЭО без УЗ и ЭЭО с УЗ при различных способах наложения УЗК позволил найти эффективную комбинированную технологию, при которой непосредственное наложение УЗК на ЭИ и подача РЖ поливом в зону обработки способствуют наилучшему удалению продуктов эрозии из зоны обработки, повышают

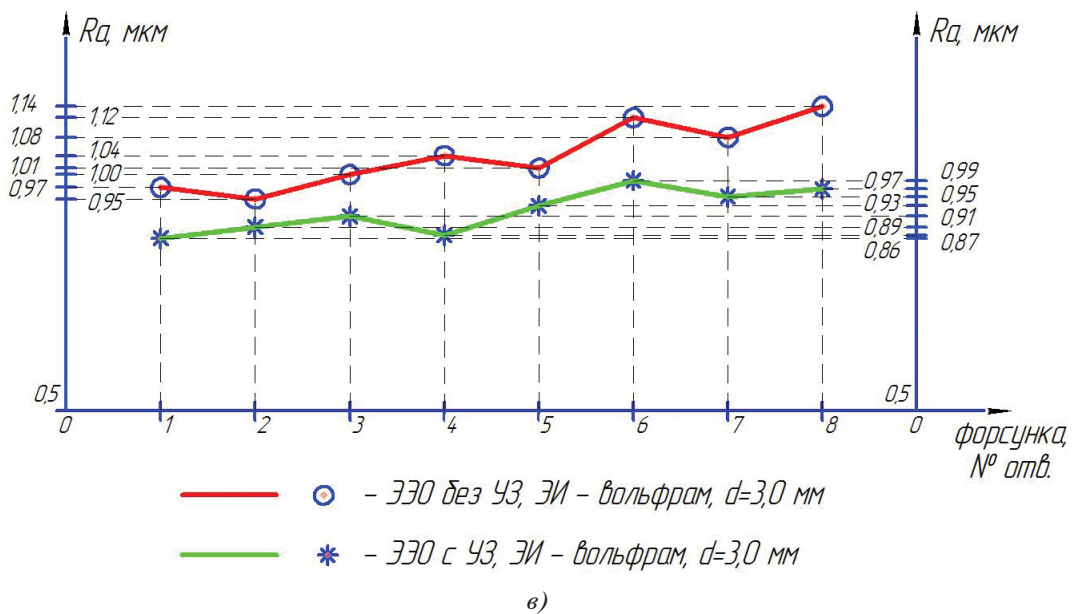
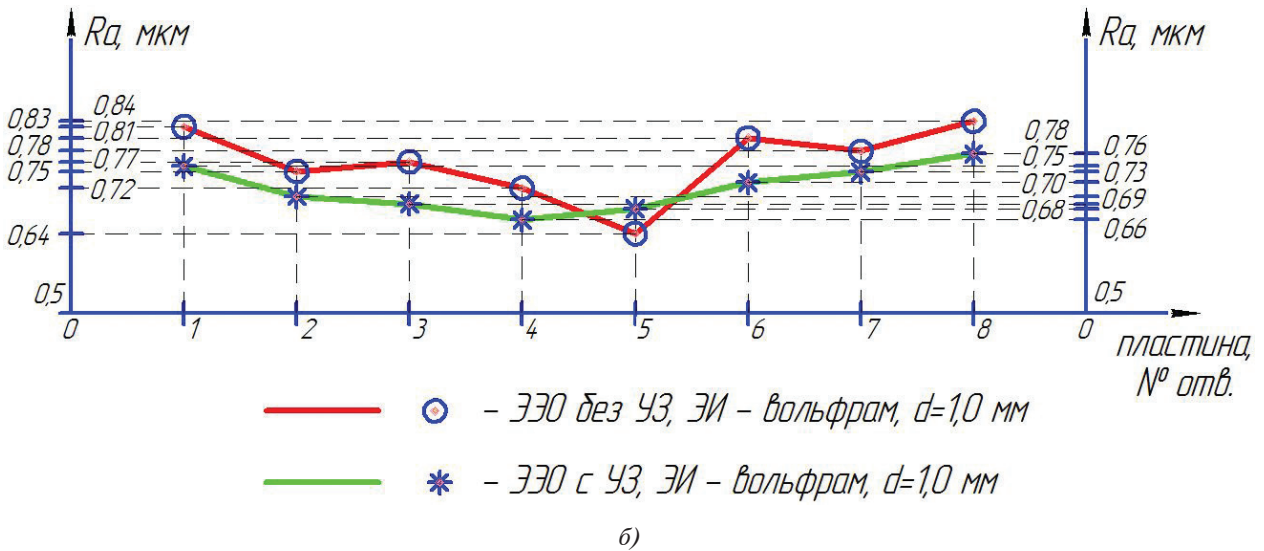
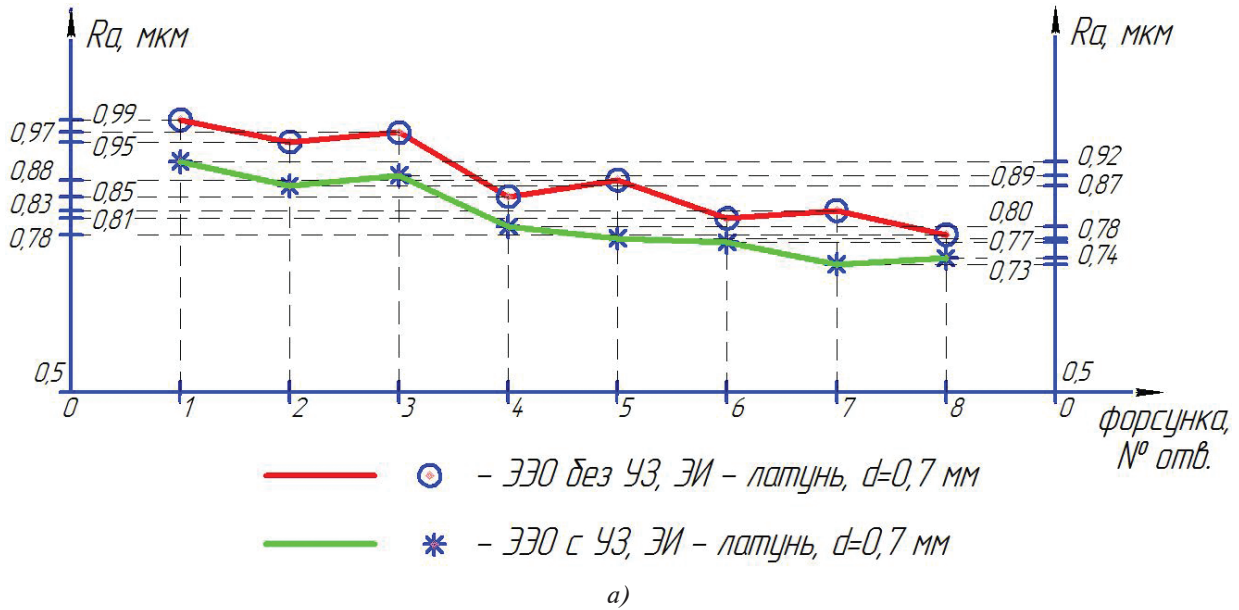


Рис. 10. Шероховатость: а — отверстий в форсунке, прошитых латунными ЭИ; б — отверстий в пластине, прошитых вольфрамовым ЭИ; в — отверстий в форсунке, прошитых вольфрамовым ЭИ

производительность, стабильность процесса ЭЭО и улучшают качество полученной поверхности отверстий при сохранении точности позиционирования прошиваемых отверстий.

Библиографический список

1. Елисеев Ю.С., Трошин А.Н. Электроэрозионная обработка отверстий малого диаметра // Авиационная промышленность. 2001. № 1. С. 23-27.
2. Макаров В.Ф., Абзаев Р.С., Владыкин А.В. Оптимизация процесса скоростной электроэрозионной обработки отверстий малых диаметров в деталях из жаропрочных сплавов // Научно-технические технологии в машиностроении. 2014. № 2(32). С. 16-20.
3. Дюльдина Н.Е., Нехорошев М.В., Проничев Н.Д. Разработка аддитивной технологии изготовления электрода-инструмента для электрохимической обработки деталей авиадвигателей // Вестник Московского авиационного института. 2017. Т. 24. № 3. С. 114-120.
4. Братухин А.Г., Язов Г.К., Карасев Б.Е. и др. Современные технологии в производстве газотурбинных двигателей. — М.: Машиностроение. 1997. — 412 с.
5. Бойцов А.Г. Инновационные технологии производства изделий ракетно-космической техники: Конспект лекций. — М.: Федеральное космическое агентство, 2015. — 382 с.
6. Воеводов А.А. Мировое станкостроение — 2015 // Комплекс «ИТО». 2016. № 5. С. 58-92.
7. Груздев А.А. Повышение производительности операций электроэрозионной прошивки отверстий малого диаметра путём наложения ультразвукового поля: Дисс. ... канд. техн. наук. — М., 2018. — 207 с.
8. Бойко А.Ф. Исследование шероховатости обработанной поверхности при электроэрозионной прошивке малых отверстий с использованием малоизносной схемы генератора импульсов с индуктивностью в разрядной цепи // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 3. С. 98-102.
9. Елисеев Ю.С., Саушкин Б.П. Электроэрозионная обработка изделий авиационно-космической техники. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. — 437 с.
10. Косычев Ю.В., Монахов В.А., Батуров В.Б. Исследование состояния поверхностного слоя в отверстиях перфорации лопаток ГТД // Совершенствование технологических процессов изготовления авиадвигателей: Сб. научных трудов. Куйбышев: КуАИ, 1985. С. 98-102.
11. Носуленко В.И. Размерная обработка металлов электрической дугой // Электронная обработка материалов. 2005. № 1. С. 8-17.
12. Tzeng Y, Chen F. Multi-objective optimisation of high-speed electrical discharge machining process using a Taguchi fuzzy-based approach // Materials and Design. 2007. Vol. 28. No. 4, pp. 1159-1168. DOI: 10.1016/j.matdes.2006.01.028
13. Cusanelli G., Burgener M., Ammann W., Grize P.-E. Hybrid EDM: Ultrasonic Vibration Assisted EDM Applied to Micro-Holes // 16th International Symposium on Electromachining (ISEM-XVI). 2010, pp. 523-527.
14. Schorderet A., Berthier Y., Preneloup A., Kremer D., Cusanelli G. Hybrid EDM: Parametric Design of Ultrasonic Assistance Device for EDM Micro-Drilling // 16th International Symposium on Electromachining (ISEM-XVI). 2010, pp. 571-575.
15. Ставицкий И.Б. Разработка методов повышения производительности электроэрозионной прошивки прецизионных глубоких отверстий: Дисс. ... канд. техн. наук. — М., 1994. — 265 с.
16. Владыкин А.В. Разработка высокоскоростного метода электроэрозионной обработки отверстий малого диаметра с регулированием режимов по массовыносу: Дисс. ... канд. техн. наук. — Пермь, 2013. — 155 с.
17. Пузачева Е.И. Совершенствование технологии малоизносной электроэрозионной обработки высокоточных малых отверстий: Дисс. ... канд. техн. наук. — Белгород, 2015. — 151 с.
18. Блинова Т.А. Разработка высокопроизводительной технологии электроэрозионной обработки малых отверстий в коллекторах: Дисс. ... канд. техн. наук. — Белгород, 2010. — 145 с.
19. Kozak J., Rajurkar K., Makkar J. Selected problems of micro EDM // Journal of Materials Processing Technology. 2004. Vol. 149. No. 1, pp. 426-431. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2004.02.031
20. Саушкин Б.П. Электроэрозионная обработка: состояние и перспективы развития. Часть 2. Прошивка отверстий // РИТМ: Ремонт. Инновации. Технологии. Модернизация. 2012. № 9(77). С. 20-24.
21. Тема 8. Электроэрозионная, электрохимическая и электронно-лучевая размерная обработка заготовок и деталей (2 ч.): файловый архив студентов. URL: <https://studfile.net/preview/9456865/page:4/>

STUDYING ULTRASONIC OSCILLATIONS IMPACT ON THE SURFACE ROUGHNESS AT THE ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING

Bogdanov K.A.

*NPO "Technomash",
40, 3d proezd Marinoy roschi, Moscow, 127018, Russia
e-mail: kab1002@bk.ru*

Abstract

The studies on estimation of the external ultrasonic field impact on the surface quality of the obtained small diameter orifices in corrosion-resistant steels and electric discharge machining productivity were performed within the framework of the presented work.

The purpose of the performed studies consists in determining quantitative characteristic of the roughness indicator when small-diameter orifices processing by electrical discharge machining with ultrasonic oscillation superposition the part under treatment or EDM tool.

The combined machining method is based on superposition of thermal action of the electric current impulses, fed continuously to the section of the workpiece being machined, with forced impact of ultrasonic oscillations for erosion products evacuation from the inter-electrode gap.

The 12X18H10T-grade austenitic stainless steel was selected as the material to be machined for experimental studies

For accuracy increasing, while the small-diameter orifices through-piercing, the presented work employs the guide alignment bushing, made of wearproof dielectric material, through which the electrode-tool is delivered and fixed.

Based on preliminary studies on the process fluid selection, preference was given to the IonoPlus IME-MH synthetic dielectric fluid for axial drilling machines, which is applied for finishing and semi-finishing. Process fluid is forcefully fed through the guide sleeve.

Prior to the experiments commence, a study was performed to select the ultrasonic field sources. Piezoceramic and magnetostrictive ultrasonic field sources were being considered. Based on the previous experiments, a magnetostrictive transducer was selected, which has a wider range of oscillations amplitude adjustment.

The machining time was recorded with a calibrated stopwatch; and the tool wear was recorded by touching the surface of the part before and after machining.

The article considers methods and technological solutions on the effective small-size orifices machining aimed at quality enhancement of the machined surface and electrical discharge technology productivity.

In the process of experimental studies, various options for the ultrasonic head installing and the electrolyte supply direction to the treatment zone were applied

The modes and schemes for the parts samples treatment were obtained based on the materials selection for the electrode-tool and operation modes of electrical discharge and ultrasonic equipment.

Experimental results allow comparing electrical discharge machining methods by technological indicators of machining time and the obtained surface quality. Thereby, they give notion on ultrasonic oscillations impact on the productivity, accuracy and quality of electro-erosion piercing of the small-size diameter orifices.

The experimental studies revealed that the high-frequency oscillations transmitting to the electrode-tool lead to productivity increasing due to short-circuit prevention between the EDM-tool and part being processes.

Graphical interpretations of the obtained numerical values allow quantifying the relationship between the processing time and the EDM tool wear, with account for various schemes of the ultrasonic application while piercing orifices in the samples of plates and nozzles.

The studies of the orifices' treated surfaces roughness, obtained by the electrical discharge machining with the ultrasonic oscillations superposition and working fluid flowing into the processed zone were performed.

The superposition of ultrasonic oscillations to the EDM tool facilitates obtaining a low roughness in

comparison with the roughness obtained by traditional EDM machining by 15-25% due to a decrease in the number of burns and short-circuits.

Keywords: external ultrasonic field, machined surface quality assessment of the small-diameter orifices, graphical interpretation of the numerical values.

References

1. Eliseev Yu.S., Troshin A.N. *Aviatsionnaya promyshlennost'*, 2001, no. 1, pp. 23-27.
2. Makarov V.F., Abzaev R.S., Vladykin A.V. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii*, 2014, no. 2(32), pp. 16-20.
3. Dyul'dina N.E., Nekhoroshev M.V., Pronichev N.D. Developing additive technology of tool electrode manufacturing for aircraft engines parts machining. *Aerospace MAI Journal*, 2017, vol. 24, no. 3, pp. 114-120.
4. Bratukhin A.G., Yazov G.K., Karasev B.E. et al. *Sovremennye tekhnologii v proizvodstve gazoturbinnnykh dvigatelei* (Modern technologies in of gas turbine engines manufacturing), Moscow, Mashinostroenie, 1997, 412 p.
5. Boitsov A.G. *Innovatsionnye tekhnologii proizvodstva izdelii raketno-kosmicheskoi tekhniki. Konspekt leksii* (Innovative technologies for rocket and space products products manufacturing. Abstract of lectures), Moscow, Federal'noe kosmicheskoe agentstvo, 2015, 382 p.
6. Voevodov A.A. *Komplekt "ITO"*, 2016, no. 5, pp. 58-92.
7. Gruzdev A.A. *Povyshenie proizvoditel'nosti operatsii elektroerozionnoi proshivki otverstii malogo diametra putem nalozheniya ul'trazvukovogo polya* (Improving performance of operations for electrical discharge stitching of small-diameter holes by applying ultrasonic field). Doctor's thesis, Moscow, MGTU im. N.E. Bauman, 2018, 207 p.
8. Boiko A.F. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*, 2015, no. 3, pp. 98-102.
9. Eliseev Yu.S., Saushkin B.P. *Elektroerozionnaya obrabotka izdelii aviatsionno-kosmicheskoi tekhniki* (Electrical discharge processing of aerospace technology products), Moscow, MGTU im. N.E. Bauman, 2010, 437 p.
10. Kosychev Yu.V., Monakhov V.A., Baturov V.B. *Sovershenstvovanie tekhnologicheskikh protsessov izgotovleniya aviadvigatelei, Sbornik statei*, Kuibyshev, KuAI, 1985, pp. 98-102.
11. Nosulenko V.I. *Elektronnaya obrabotka materialov*, 2005, no. 1, pp. 8-17.
12. Tzeng Y., Chen F. Multi-objective optimisation of high-speed electrical discharge machining process using a Taguchi fuzzy-based approach. *Materials and Design*, 2007, vol. 28, no. 4, pp. 1159-1168. DOI: 10.1016/j.matdes.2006.01.028
13. Cusanelli G., Burgener M., Ammann W., Grize P.-E. Hybrid EDM: Ultrasonic Vibration Assisted EDM Applied to Micro-Holes. *16th International Symposium on Electromachining (ISEM-XVI)*, 2010, pp. 523-527.
14. Schorderet A., Berthier Y., Prenleloup A., Kremer D., Cusanelli G. Hybrid EDM: Parametric Design of Ultrasonic Assistance Device for EDM Micro-Drilling. *16th International Symposium on Electromachining (ISEM-XVI)*, 2010, pp. 571-575.
15. Stavitskii I.B. *Razrabotka metodov povysheniya proizvoditel'nosti elektroerozionnoi proshivki pretsizionnykh glubokikh otverstii* (Developing methods for performance improving of electrical discharge of precision deep holes piercing). Doctor's thesis, Moscow, MGTU im. N.E. Bauman, 1994, 265 p.
16. Vladykin A.V. *Razrabotka vysokoskorostnogo metoda elektroerozionnoi obrabotki otverstii malogo diametra s regulirovaniem rezhimov po massovynosu* (Developing high-speed method of electrical discharge machining of small holes with modes regulation by evacuation of mass). Doctor's thesis. Perm, Voronezhskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2013, 155 p.
17. Puzacheva E.I. *Sovershenstvovanie tekhnologii maloiznosnoi elektroerozionnoi obrabotki vysokotochnykh malykh otverstii* (Improving low-wear technology of electrical discharge machining of high-precision small orifices). Doctor's thesis. Belgorod, Belgorodskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii universitet im. V.G. Shukhova, 2015, 151 p.
18. Blinova T.A. *Razrabotka vysokoproizvoditel'noi tekhnologii elektro-erozionnoi obrabotki malykh otverstii v kollektorakh* (Development of high-performance technology for electro-erosion treatment of small holes in collectors). Doctor's thesis. Belgorod, Belgorodskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii universitet im. V.G. Shukhova, 2010, 145 p.
19. Kozak J., Rajurkar K., Makkar J. Selected problems of micro EDM. *Journal of Materials Processing Technology*, 2004, vol. 149, no. 1, pp. 426-431. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2004.02.031
20. Saushkin B.P. *RITM: Remont. Innovatsii. Tekhnologii. Modernizatsiya*, 2012, no. 9(77), pp. 20-24.
21. *Tema 8. Elektroerozionnaya, elektrokhimicheskaya i elektronno-luchevaya razmernaya obrabotka zagotovok i detalei, 2 ch.* (Topic 8. Electro-erosive, electrochemical and electron-beam dimensional processing of workpieces and parts. In 2 parts). URL: <https://studfile.net/preview/9456865/page:4/>