

Проведён теоретический анализ и выполнены экспериментальные исследования, на основе которых разработаны технологические рекомендации по созданию опор скольжения и виброизолирующих элементов на основе комбинированных металлополимерных систем с повышенными эксплуатационными характеристикам.

Литература. 1. Кречмар Э. Напыление металлов, керамики и пластмасс: Пер. с немецкого. – М.: Машиностроение, 1966. – 432 с. 2. Довгяло В.А., Юркевич О.Р. Композиционные материалы и покрытия на основе дисперсных полимеров. Технологические процессы. – Мн.: Наука и техника, 1992. – 256 с. 3. Положительное решение по заявке № 2000111045/28(011673) кл. МПК 7 F 16 C 33/00, 33/12. Композиционная опора скольжения и способ её изготовления / Берестнев О.В., Басинюк В.Л., Кирейцев М.В., Белоцерковский М.А., Федаравичус А.В. 4. Патент РБ на полезную модель № 424 по заявке № и 20010142, кл. МПК 7 F 16 H 1/48. Редуктор / Белоцерковский М.А., Басинюк В.Л., Федаравичус А.В., Кирейцев М.В. 5. Патент РБ на полезную модель № 425 по заявке № и 20010143, кл. МПК 7 F 16 C 33/26. Композиционная опора скольжения / Белоцерковский М.А., Басинюк В.Л., Федаравичус А.В., Кирейцев М.В. 6. Положительное решение по заявке № и 20020022, кл. МПК 7 F 16 H 1/48. Редуктор / Белоцерковский М.А., Федаравичус А.В., Сухоцкий П.Г.

УДК 621.9.048

В.И. Шпорт, А.М. Злыгостев, В.И. Якимов

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ПОЛУЧЕНИЯ ИСХОДНОГО ЭЛЕКТРОДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

*Федеральное государственное унитарное предприятие «Комсомольское-на-Амуре
авиационное производственное объединение им. Ю.А. Гагарина»
г. Комсомольск-на-Амуре, Россия*

Процесс получения большого количества однотипных сквозных отверстий в листовых деталях электроэрозионным способом (электроэрозионное перфорирование) широко распространен в различных отраслях машиностроения при производстве решеток, сит, фильтров и т.д. [1]. Как правило, обработка этих деталей ведется сборными многоэлементными электродами, каждый отдельный элемент которых в сечении повторяет профиль обрабатываемого отверстия с корректировкой размеров на величину рабочего бокового зазора и бокового износа. В зависимости от требований предъявляемых к геометрии отверстий и перемычек между ними, а также материала обрабатываемой детали, выбирается и материал электрода – инструмента (ЭИ).

При изготовлении панели защитного устройства (ПЗУ), применяемого в конструкции современных летательных аппаратов, для получения большого количества квадратных отверстий размером 2,5×2,5 мм и перемычкой между соседними 0,55 мм использован метод электроэрозионного перфорирования (ЭЭП) [2]. Деталь – сварная конструкция из продольных и поперечных ребер. Материал – титановый сплав ВТ20; толщина перфорируемого листа 1,8 мм. Ось отверстий наклонена к плоскости панели на угол 60°. Рабочий ЭИ представляет собой сборную конструкцию, состоящую из 28

пластин, в каждой из которых выполнено по 24 зуба, представляющих собой элементарный электрод квадратного сечения размером 2,21×2,21 мм и с пазом между соседними 0,81 мм. Материал электродных пластин – медь – выбран по рекомендациям [1, 3]. В связи с высокой стоимостью меди существенная часть себестоимости электродов относится на исходный материал, в структуре цены которого способ его получения играет большую роль. Целью данной работы является определение степени влияния способа получения меди на технико-экономические показатели процесса ЭЭП при обработке ПЗУ.

Для исследования выбраны российский материал М1 с процентным содержанием меди 99,95 % и его аналог производства Китая марки Т2 (содержание Cu=99,99 %). Материал Т2 получен плавкой и, соответственно, менее дорогой. Материал М1 получен в результате электролиза путем катодного осаждения. Макроструктура меди марки Т2 и М1 показана на рис. 1.

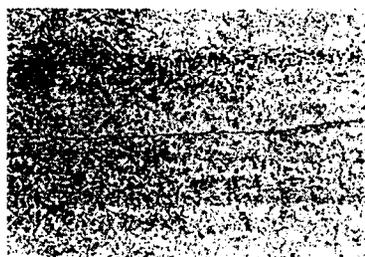
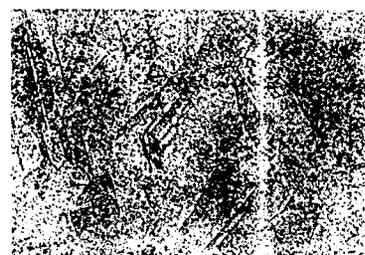


图1 × 200

Материал Т2



图2 × 200



(以下空白) 3 × 200

Материал М1

Рис. 1

Для проведения сравнительных испытаний изготовлены комплекты электродных пластин по следующим технологиям. Материал М1:

- вырубка прямоугольных заготовок из листа 2,5 мм;
- чеканка до размера 2,25 мм;
- шлифование в размер 2,21 мм;
- вырубка посадочных отверстий и зубьев рабочего профиля.

Материал Т2:

- ковка литой заготовки в кубик со стороной 150 мм;
- разрезание на пластины толщиной 2,21 мм на проволочном электроэрозионном станке;
- вырезание по программе посадочных отверстий и рабочего профиля на проволочном станке.

В дальнейшем, пластины из каждого материала собирались в специальные кассеты по 28 штук. Таким образом, сборный ЭИ имеет 672 элементарных электрода. Сравнительные испытания двух электродных материалов проводили в производственных условиях на станках мод. 4Е723 с генераторами ШГИ 80×2 – 200М2 с использованием рабочей жидкости РЖ-3.

Из проведенных ранее исследований с использованием медных ЭИ [4] известно, что процесс перфорации ПЗУ имеет три стадии: врезание электрода, съём основного объёма металла, стадия калибровки полученного отверстия. Каждой стадии соответствует свой режим работы генератора, основной энергетической характеристикой которого является средняя величина амплитуды тока рабочего импульса $I_{\text{раб}}$. Для ЭИ из М1 эта величина составляет на режиме врезания 10-12А; на маршевом режиме 18-20А; на

режиме калибровки 8-10А. Процесс характеризуется хорошей устойчивостью и стабильностью, особенно на маршевом режиме, когда происходит основной съем металла с детали. Отсутствуют случаи "прижогов" с разрушением элементарных электродов. Износ по торцу составляет не более 5 – 7%, по боковым граням - 2-3 %, что позволяет многократно использовать ЭИ без снижения точности получаемых на решетке размеров.

Попытка на аналогичных режимах выполнить ЭЭП электродом из Т2 привела к следующему результату. на стадии врезания на торцевой поверхности у 90 % элементарных электродов произошло образование лунок диаметром от 0,5 до 1,5 мм и глубиной 0,3-1,0 мм за счет выплавления электродного материала (ток 10-12 А). на маршевом режиме (ток 18-20 А) произошло электроэрозионное разрушение нескольких элементарных электродов по всей площади ЭИ (см. рис. 2). Очевидной причиной этому послужил явно завышенный для данного материала уровень токовой нагрузки. Снижение величины рабочего тока до 8-10А на первой стадии и до 14-16 А на второй позволили выполнить операцию ЭП в полном объеме и получить необходимую геометрию решетки. Однако, эффект лункообразования на рабочих торцах существенно не изменился, что внесло большую степень риска в плане дальнейшего использования ЭИ. Что и подтвердили последующие контрольные прошивки, в результате которых, за счет дальнейшего развития лунок, стали происходить фрагментарно и групповые (по 2-3-зуба) разрушения ЭИ.

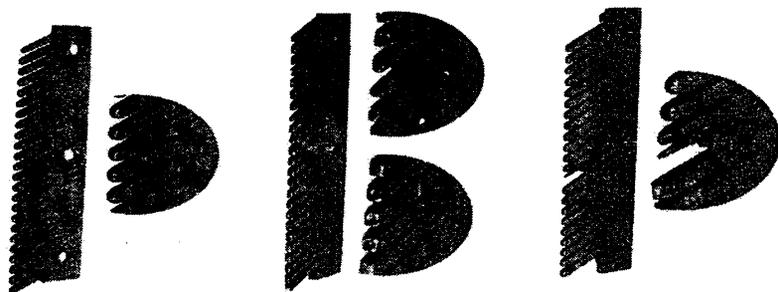


Рис. 2.

Единый рабочий импульс оставляет на месте канала разряда на электродах, в зависимости от прилагаемой удельной мощности, лунку диаметром от 0,001 до 0,1 мм за счет термического разрушения.

Причем значительная доля тепловой энергии рассеивается в тело детали и ЭИ, а также уносится рабочей жидкостью. Однако, при параллельном расположении детали и электрода возникают условия для возникновения "гнездового разряда", когда на ограниченном пространстве один за другим проходят десятки рабочих импульсов тока, принося каждый свою составляющую в общий тепловой поток, выделяющийся локально. В изготовленных ЭИ каждый элементарный электрод имеет плоский торец в рабочей части, который в процессе обработки образует с заготовкой плоскопараллельный зазор величиной 0,02-0,03 мм. В случае возникновения "гнездового разряда" тепло с краев еще отводится за счет омывающей с боковой рабочей жидкости, а в центре тепловой поток локализуется и, достигнув определенной плотности, образует лунку в торце элементарного электрода с последующим ее развитием до разрушения. Появление следов разрушения на боковых стенках зубцов связано, на наш взгляд, с повышенной концентрацией силовых линий тока на острых кромках по периметру торца и соответствующей тепловой перегрузкой в направлении распространения силовых линий.

Таким образом, исходя из наших представлений можно сделать вывод, что для устранения причин возникновения дефектов электроэрозионного разрушения термического характера на электродах из материала Т2 необходимо обеспечить дополнительно отвод тепла за счет обеспечения равномерного потока рабочей жидкости в торцевой части электродов в начальной стадии процесса обработки и исключить наличие острых кромок по периметру каждого зубца. Конструктивно эта задача была решена путем

скругления радиусом 0,5 мм кромок торцовой части каждого элементарного электрода по периметру. Последующие прошивки показали эффективность этого приема и в какой-то мере подтвердили правильность наших рассуждений.

Процесс ЭЭП, выполняемый электродами с измененной рабочей частью из материала Т2, получился в достаточной мере устойчивым и стабильным. Образование лунок происходит в среднем не более чем на 1-2 % элементарных электродах и заканчивается на своей начальной стадии, когда на скругленном торце проявляется лишь слабый след. Следы разрушения на боковых кромках отсутствуют. Отмечен стабилизирующий эффект на стадии врезания электрода за счет более плавного нарастания площади обработки в процессе внедрения ЭИ в тело детали, а также за счет отсутствия заусенцев на обратной стороне панели при выходе скругленного электрода из детали в начале процесса калибровки.

Сравнивая поведение двух электродных материалов в процессе ЭЭП можно сделать вывод, что электроэрозионная стойкость медного сплава Т2 ниже чем М1, что проявляется не только в снижении электрических параметров процесса обработки, но и в необходимости принятия дополнительных мер при проектировании и изготовлении ЭИ. Исходя из того, что технология получения электродных пластин не может оказывать существенное влияние на физико-химические характеристики материала, можно констатировать, что проявляющиеся различия обусловлены различным способом получения исходных заготовок, а именно, микроструктурой получаемых сплавов.

Для того, чтобы количественно сравнить поведение двух материалов в процессе ЭЭП провели несколько серий экспериментов по определению их стойкости. Одинаковые на высоте электроды из М1 и Т2 выработывали до условного полного износа последовательно прошивая образцы.

Сравнение технико-экономических показателей самого процесса перфорирования определяли при изготовлении боевых деталей по наиболее объективному показателю – времени обработки t .

В таблице представлены данные хронометража времени прошивки двумя ЭИ по одноконтурной схеме на глубину 6 мм (с учетом калибровки отверстий), полученные как среднеарифметическое из пяти параллельных наблюдений для обоих исследуемых материалов, из которой видно, что электроды из М1 имеют почти в два раза больший ресурс, чем из Т2, за счет меньшего износа.

Таблица

Марка меди	Глубина обработки, мм						
	0,6	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Время обработки, мин							
М1	12	25	65	110	120	127	135
Т2	8	23	77	170	196	205	218

Анализ кривых на рис. 3 показывает схожесть процесса обработки на первой стадии (до 1 мм) и третьей (калибровка после 2,5 мм) и очевидной затянутости во времени на маршевом режиме при работе электродов из Т2. Это объясняется значительным различием в величине токовой нагрузки, которую способен выдержать на данной операции каждый из исследуемых материалов. Преимущество М1 по этому параметру составляет 62 %.

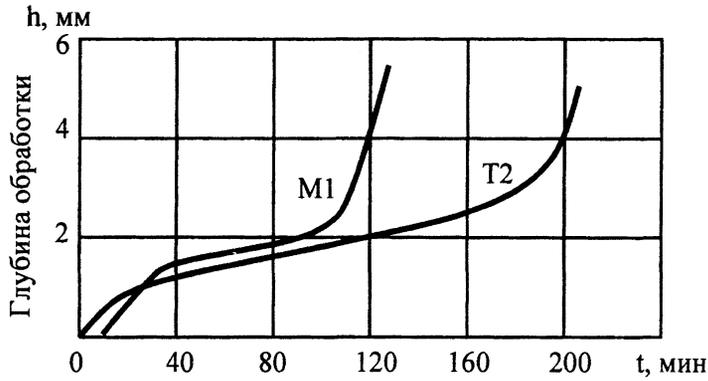


Рис. 3

Литература. 1. Б.А. Артамонов, А.Л. Вишницкий и др. размерная электрическая обработка металлов. -М.: Высшая школа, 1978 г. -С. 336. 2. Злыгостев А.М., Дун В.А. Обработка процесса двухконтурного электроэрозионного перфорирования // Авиационная промышленность, 1987, № 3. С.40. 3. М.Л. Левит, О.В. Падалко. Материалы и методы для изготовления фасонных электродов-инструментов электроэрозионных копировально-прошивочных станков. -М.: НИИМАШ, серия С-Х-7, 1975. -С. 143. 4. Злыгостев А.М., Чернов А.И. Обработка режимов электроэрозионного сплава марки ВТ-20. Электрофизические и электрохимические методы обработки. М.: НИИМАШ. 1982. № 4. -С. 16.

УДК 539.3

Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая

СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ НЕОДНОРОДНЫХ ТЕЛ

*Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Беларусь*

Рассмотрим процесс одномерного циклического деформирования слоистой идеальной упругопластической среды, при котором деформация k -го слоя представима в виде:

$$\varepsilon^k = A_k \cos \omega t. \quad (1)$$

На рисунке приведена диаграмма Прандтля для циклического деформирования. В угловых точках, обозначенных римскими цифрами, деформации и время их достижения будут следующими:

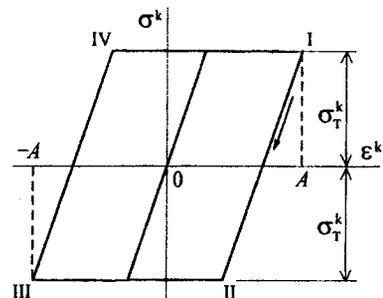
I. $\varepsilon^k = A_k, \quad \omega t_1 = 0;$

II. $\varepsilon^k = A_k - \sigma_T^k / G^k,$

$$\omega t_2 = \arccos(1 - \sigma_T^k / A_k G^k);$$

III. $\varepsilon^k = -A_k, \quad \omega t_3 = \pi;$

VI. $\varepsilon^k = -A_k + \sigma_T^k / G^k,$



Рисунок