

## ЛИТЕРАТУРА

1. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. -М.: Наука, 1974. -640 с. 2. Андрейкив А.Е., Лысак Н.В. Метод акустической эмиссии в исследовании процессов разрушения. -К.: Наукова думка, 1989. -176 с. 3. Семашко Н.А., Мельников Д.В. Исследование кинетики развития трещин при внецентренном растяжении сплава ОТ4-0// Современные технологии в машиностроении. -Пенза.: Сборник материалов, часть 1.-2002. -С.84-86. 4. Авиационные материалы. Т 5. Под ред. А.Т. Туманова. М.: ВИАМ, 1973. -580 с. 5. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение. -М.: Металлургия, 1989.-456 с. 6. ГОСТ. 25.506-85. Расчеты испытания на прочность. Определение характеристик трещиностойкости при статическом нагружении. -М.: Изд. Стандартов, 1985. -57 с. 7. Лазарев А.М., Рубинштейн В.Д. Исследование акустической эмиссии при испытаниях образцов на вязкость разрушения// Дефектоскопия. -1988. -№12. -С.42-47.

УДК 621.923.7

Ю.В. Синькевич, Г.Я. Беляев, И.Н. Янковский

### ОСОБЕННОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОМ ПОЛИРОВАНИИ

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Неоспоримые преимущества электрохимических способов обработки (ЭХО) создали предпосылки для их широкого использования в различных отраслях современного машино- и приборостроения (в турбостроении, авиастроении, инструментальном производстве и т. д.). Результаты теоретических исследований и накопленный производственный опыт позволяют решать с их помощью сложные технологические задачи. Достижение точности обработки при размерной ЭХО, как важнейшего показателя качества деталей, сопряжено с наибольшими трудностями и затратами. Приведенный в работе [1] анализ погрешностей формообразования показывает, что обрабатываемая поверхность формируется в соответствии с пространственно-временной эпурой локальных скоростей анодного растворения и напрямую связана с величиной и точностью поддержания межэлектродного зазора и электрогидродинамических параметров потока электролита в нем.

Одним из способов ЭХО является способ электроимпульсного полирования (ЭИП), получивший широкое использование для финишной обработки (полирования, удаления заусенцев, очистки поверхности) деталей и изделий различного промышленного назначения.

Особенностью ЭИП является динамически устойчивая парогозовая оболочка (ПГО) около обрабатываемой поверхности, своего рода аналог межэлектродного зазора при ЭХО. Наличие ПГО, ее динамические характеристики, толщина и химический состав оказывают решающую роль на формообразование обрабатываемой поверхности. Многие исследователи отмечали, что кривизна обрабатываемой поверхности оказывает влияние на толщину ПГО. Электрогидродинамическая модель прианодной зоны при ЭИП [2] позволяет рассчитать эффективную толщину ПГО, которая для случая ЭИП плоской поверхности равна 5...15 мкм. Учитывая, что практическое применение ЭИП — это полирование криволинейных поверхностей, а теоретических исследований процесса ЭИП в области кривизны в настоящее время практически нет, то изучение этих закономерностей имеет важное теоретическое и практическое значение, особенно при полировании прецизионных поверхностей с малыми радиусами кривизны.

Развивая электрогидродинамическую модель ЭИП, было получено зависимость для оценки эффективной толщины ПГО в области кривизны обрабатываемой поверхности:

$$l = \frac{l_0}{\sqrt{1 - \frac{2l_0^2 \sigma (\rho_1 + \rho_2)}{\epsilon \epsilon_0 U^2}}}, \quad (1)$$

где  $l_0$  — толщина ПГО над плоской поверхностью;  $s$  — поверхностное натяжение электролита;  $\rho_1$  и  $\rho_2$  — кривизна поверхности электролита на границе ПГО-электролит;  $\epsilon$  — относительная диэлектрическая проницаемость;  $\epsilon_0$  — электрическая постоянная;  $U$  — падение напряжения на ПГО.

Кривизну поверхности электролита на границе ПГО-электролит определяют как обратную величину главных радиусов кривизны поверхности электролита, измеренных в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, в которых кривизны имеют максимальное и минимальное значение. Кривизна положительная (со знаком плюс), если поверхность электролита выпуклая, и отрицательная (со знаком минус), если поверхность вогнутая. Рассмотрим некоторые характерные случаи ЭИП простых криволинейных поверхностей.

При ЭИП кромки, образованной пересечением двух плоскостей или криволинейных поверхностей с большими радиусами кривизны, ПГО имеет вид цилиндрической поверхности, для которой  $\rho_1 = -r$  и  $\rho_2 = 0$ . Толщину ПГО над кромкой можно определить из зависимости

$$l = \frac{l_0}{\sqrt{1 + \frac{2l_0^2 \sigma \rho}{\epsilon \epsilon_0 U^2}}}, \quad (2)$$

В случае полирования паза  $r_1=r>0$  и  $r_2=0$  зависимость (1) принимает вид

$$l = \frac{l_0}{\sqrt{1 - \frac{2l_0^2 \sigma \rho}{\epsilon \epsilon_0 U^2}}}, \quad (3)$$

При полировании конической поверхности в области вершины конуса образуется сферическая ПГО с кривизной  $r_1=r_2=r<0$ , толщина которой может быть определена

$$l = \frac{l_0}{\sqrt{1 + \frac{4l_0^2 \sigma \rho}{\epsilon \epsilon_0 U^2}}}, \quad (4)$$

Анализ формул (2), (3) и (4) показывает, что при ЭИП выпуклых криволинейных поверхностей толщина ПГО в области кривизны меньше, чем над плоским участком обрабатываемой поверхности ( $l < l_p$ ). В области кривизны в ПГО возрастают напряженность электрического поля и интенсивность физико-химических процессов, приводящие к увеличению съема металла по сравнению с плоским участком или криволинейным с большими радиусами кривизны. Этим объясняется интенсивный съем мелких заусенцев, притупление острых кромок на деталях и невозможность заточки (получения минимального радиуса закругления вершины) изделий типа игл. При обработке крупных заусенцев, имеющих относительно большие радиусы кривизны, толщина ПГО становится соизмеримой с толщиной оболочки в области плоского участка. При этом падает интенсивность съема металла на заусенце. Этим объясняется снижение эффективности удаления ЭИП крупных заусенцев.

Полирование вогнутых криволинейных поверхностей сопровождается увеличением толщины ПГО в области кривизны по сравнению с плоским участком. Кроме того, как правило, в области кривизны ухудшается отвод газообразных продуктов ПГО, еще больше увеличивая ее толщину. Все это приводит к значительному снижению производительности и точности обработки вогнутого криволинейного участка поверхности.

Особенностью процесса ЭИП является невозможность принудительного и точного задания параметров ПГО. При обработке прецизионных деталей следует учитывать описанные выше особенности формообразования и обеспечить беспрепятственное удаление из зоны обработки газообразных продуктов за счет пространственной ориентации обрабатываемого изделия в ванне.

В качестве объекта для экспериментальных исследований формообразования прецизионных поверхностей был выбран модулятор электронно-оптической системы кинескопа, который представляет собой диафрагму толщиной  $0,15 \pm 0,01$  мм из стали 12Х18Н10Т с цилиндрическими рабочими отверстиями  $\varnothing 0,635^{+0,003}_{-0,008}$  мм

Основные технологические требования, предъявляемые к модулятору — это обеспечение геометрических размеров рабочих отверстий с заданной точностью, полное отсутствие заусенцев и загрязнений на поверхности. Микрозаусенцы, расплывшаяся в вакууме при работе кинескопа, нарушают изоляцию между электродами и вызывают короткие замыкания. Наличие загрязнений на поверхности (оксидные пленки, сернистые и хлористые соединения, следы жиров и т. д.) вызывают не только резкое ухудшение параметров кинескопа, но и потерю его работоспособности [3].

По формуле (1) была произведена оценка толщины ПГО в зоне обработки рабочих отверстий и кромок с заусенцами. Расчетная толщина ПГО при обработке отверстия превышает толщину ПГО над плоской частью модулятора в 1,8...2,3 раза; при обработке кромок отверстия толщина ПГО над кромкой по сравнению с плоским участком меньше в 7,3...7,8 раза, а толщина над кромкой по сравнению с поверхностью отверстия меньше в 11...13 раз. Однако, учитывая величину диаметра рабочего отверстия модулятора, можно предположить, что динамические характеристики ПГО в отверстии из-за неудовлетворительных условий отвода газообразных продуктов из зоны обработки будут существенно отличаться от идеальных, а ЭИП отверстия будет осуществляться в промежуточном режиме от электрогидродинамического до коммутационного, что, вероятно, увеличит съем металла в отверстии по сравнению с расчетным.

На рис. 1 приведена схема формообразования плоской и криволинейных поверхностей (кромки и диаметра отверстия).

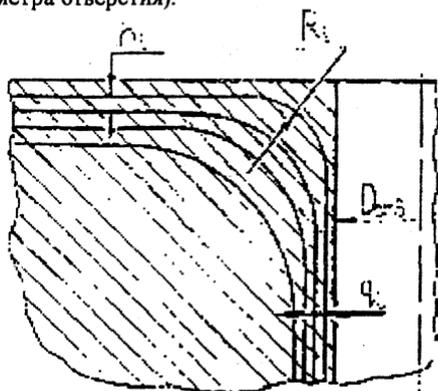


Рис. 1. Схема формообразования криволинейных поверхностей при ЭИП:  
 $h_p$  — съем металла с плоской поверхности;  $q_v$  — съем металла в отверстии;  
 $R_k$  — радиус скругления кромок.

Партию модуляторов полировали на установке ЭИП-1 в течение 10; 20; 30; 40 и 50 с при температуре электролита 60 °С. Измерение диаметров рабочих отверстий, высоты заусенцев и радиусов скругления кромок проводилось на микроскопе прибора ПТМ-3. В качестве критериев при оценке качества обработки были приняты: диа-

метр рабочего отверстия после ЭИП должен находиться в пределах допуска, за время обработки должно быть обеспечено полное удаление заусенцев на кромках отверстий, а также загрязнений и пленок с поверхности модулятора. Дополнительно в ходе эксперимента контролировали радиус скругления кромок отверстий (рис. 2).

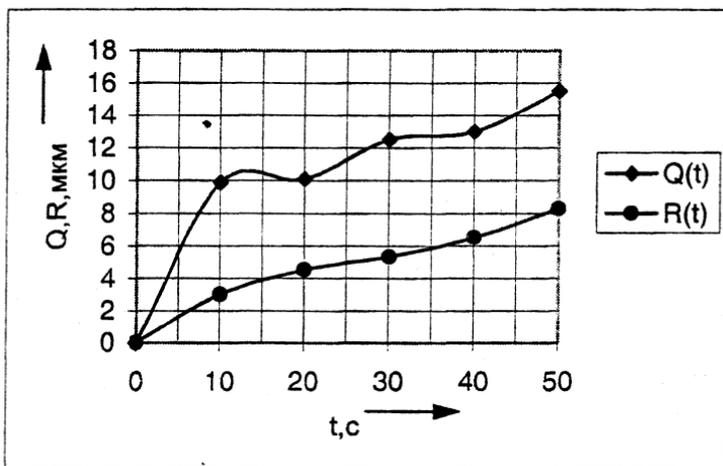


Рис. 2. Зависимости изменения диаметра отверстия  $Q$  и радиуса скругления кромок  $R$  от времени обработки  $t$ .

Установлено, что оксидные пленки и загрязнения полностью удаляются с поверхности за 10 с обработки. При этом наблюдалось частичное удаление мелких заусенцев, а высота оставшихся заусенцев не превышала 5 мкм. Четкое скругление кромок отверстий обеспечивалось за 20 с. За это время снизилась шероховатость поверхности отверстия, а диаметр приблизился к верхнему предельному отклонению. Полное удаление заусенцев наблюдалось через 20...40 с. За время обработки 50 с съем металла на сторону с плоского участка модулятора не превышал 2,5 мкм. Таким образом, для обеспечения заданной точности конструктивных элементов серийного модулятора время его полирования не должно превышать 20...25 с.

Полученные экспериментальные данные ЭИП прецизионных деталей хорошо согласуются с предложенными схемой формообразования и теоретическими зависимостями толщины ПГО над криволинейными участками обрабатываемой поверхности и влиянием толщины ПГО на производительность обработки. Учитывая особенности формообразования криволинейных поверхностей, ЭИП можно использовать не только как отделочную финишную, но и как размерную обработку, в том числе при полировании прецизионных деталей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Оборудование для размерной электрохимической обработки деталей машин / Под ред. В.Ф. Седыкина. - М.: Машиностроение, 1980. - 277 с. 2. Авсеевич О.И., Синькевич Ю.В., Головкина Е.Я., Романчук С.И. Электрогидродинамическая модель прианодной зоны при электроимпульсном полировании металлов. - М., 1988. - 14 с. - Деп. в ВИНТИ, №11(205). 3. Фраткин Ю.Б., Третьяков А.С. Технология контроля электронных приборов. - М.: Высшая школа, 1984. - 167 с.

УДК 621.771.06+621.97:621.73

П.А. Стасюк

### **ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ОСНОВНЫХ СПОСОБОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК В МАШИНОСТРОЕНИИ**

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Развитие прогрессивных металлосберегающих технологий направлено на снижение расхода металла и получение высококачественных поковок, по своей форме и размерам максимально приближающихся к детали с минимальными допусками или вообще не требующих последующей механической обработки, на увеличение производительности оборудования, сокращение трудовых затрат на изготовление поковок и снижение себестоимости деталей, а также на улучшение условий труда в горячештамповочных цехах.

Как известно, существует ряд способов обработки металлов давлением, которые позволяют получать ступенчатые заготовки, максимально приближенные по форме и размерам к готовой детали, а именно: горячая штамповка, радиальная ковка, попеременно-клиновое прокатка и др.

На радиально-ковочных машинах (РКМ) обрабатывают сплошные и полые заготовки диаметром до 800 мм. Заготовку деформируют одновременно четырьмя бойками, расположенными в одной плоскости. Инструмент движется по радиусу от периферии к центру и обратно, сам инструмент и приводящие его в действие узлы не вращаются вокруг обрабатываемой заготовки.

Горячей штамповкой на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ) изготавливают самые различные заготовки, требующие технологических переходов высадки, прошивки, выдавливания и др. Штамповка осуществляется в закрытых штампах с двумя плоскостями разреза матриц.