

УДК 621.923.74-408

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ МЕЛКОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ

© 2011 Т.Р. Абляз, А.М. Ханов, В.В. Севастьянов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Поступила в редакцию 11.11.2011

В работе рассмотрен процесс изготовления мелкогабаритных деталей на проволочно-вырезном электроэрозионном станке (ПЭЭО). Исследована структура поверхностного слоя обработанной детали, его шероховатость, а также возникшая погрешность формы при обработке криволинейных участков.

Ключевые слова: *проволочно-вырезная электроэрозионная обработка, погрешность формы, изменение структуры, шероховатость*

Несмотря на широкое применение проволочно-вырезной электроэрозионной обработки (ПЭЭО), данный метод не изучен в полной мере. Актуальной проблемой является обработка деталей криволинейного профиля с малыми габаритами. Так как электрод-инструмент (ЭИ) имеет небольшой диаметр, порядка 0,25 мм, он подвержен значительным силовым воздействиям в процессе резания. К основным силовым факторам, возникающим между электродами при ПЭЭО, относят взрывную, электромагнитную и электростатическую силы [1]. Под действием сил возникающих от разрядов, ЭИ начинает вибрировать и отгибаться от прямолинейного реза, что приводит к повышению геометрической погрешности обработки. Вопросы моделирования геометрической погрешности при ЭЭО описывались в работах [1-5].

В процессе резания на ЭИ действуют фронтальные и боковые разряды. Область их действия характеризуется углом дуги разряда Q [1-5]. В начальный момент резания угол дуги разряда минимален и в процессе обработки достигает 180° (рис. 1). В связи с неравномерностью распределения разрядов, действие сил от этих разрядов также распределяется неравномерно. Таким образом, суммарная сила от действия фронтальных разрядов (F_ϕ) направлена против движения подачи (S) и имеет постоянное направление. Суммарная сила от действия боковых разрядов (F_σ) не имеет постоянного направления и изменяется в зависимости от угла Q .

При изменении направления траектории движения изменяется угол Q , вследствие чего будет изменяться направление воздействия суммарных боковых и фронтальных сил. В результате данного явления возникает округление обрабатываемых углов. При обработке криволинейных контуров геометрическая погрешность будет накапливаться, и обработанный профиль детали не будет совпадать с профилем заданным по управляющей программе.

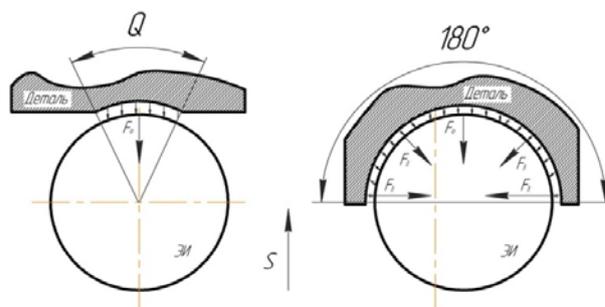


Рис. 1. Распределение сил

Модель, предложенная в работе [6], описывает вибрацию ЭИ и ее влияние на точность электроэрозионной обработки. ЭИ рассматривается как струна, находящаяся под действием сил натяжения. Уравнение движения проволоки имеет вид:

$$\rho \frac{\partial^2 X}{\partial t^2} = T \frac{\partial^2 X}{\partial z^2} + p - \mu \frac{\partial X}{\partial t}, \quad (1)$$

где ρ – масса единицы длины проволоки, X – вектор смещения проволоки, t – время, T – натяжение проволоки, p – вектор силы, действующий на единицу длины проволоки, μ – коэффициент затухания, Z – координата оси проволоки.

Абляз Тимур Ризович, аспирант

Ханов Алмаз Муллаянович, доктор технических наук, профессор, декан

Севастьянов Валерий Васильевич, доктор технических наук, профессор

Анализ решения уравнения (1) показывает, что вибрация проволоки в течение обработки является сложной и складывается из суммы волн, вызванных единичными разрядами. Амплитуда колебаний будет возрастать при увеличении энергии рабочих импульсов, а также при уменьшении длительности выключения импульса (t_{off}) при той же энергии (W_u). Увеличение амплитуды колебания негативным образом скажется при обработке углов [6]. С ростом энергии импульсов происходит изменение шероховатости поверхности [7]:

$$R_z = k_3 W_u^x t_{on}^y, \quad (2)$$

где k_3 – коэффициент, зависящий от материалов электродов, t_{on} – время действия импульса. Независимо от электрода инструмента при обработке стали $y=0,25$; $x=0,45$. Из выражения (2) видно, что рост t_{on} примерно в 10 раз вызывает увеличение R_z в 1,4-1,6 раз, а такое же возрастание W_u приводит к увеличению R_z в 3 раза.

Помимо показателей геометрической точности при обработке мелкогабаритных деталей, следует обращать особое внимание на структурные изменения, происходящие в материале детали. Согласно [7], температура в зоне резания превышает температуру плавления материала детали, в результате чего структура и свойства обработанного поверхностного слоя будут близки к параметрам, получаемым после термической обработки. Однако высокие скорости нагрева и охлаждения при ПЭЭО приводят к появлению в поверхностном слое тепловых и структурных напряжений. При обработке мелкогабаритных деталей происходит неравномерное распространение теплоты в тело заготовки и охлаждение, что приводит к повышенному перегреву и как следствие снижению механических свойств.

Исследования описанных процессов проводилось на проволочно-вырезном электроэрозионном станке EcoCut. В качестве обрабатываемой заготовки выбрана деталь «Крючок» (рис. 2). Материал заготовки – сталь 45. Твердость образца составляет 50 HRC. Толщина заготовки составляет 1 мм.

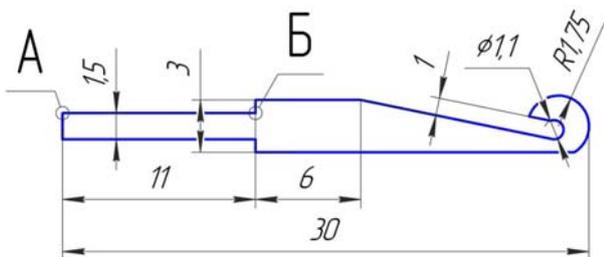


Рис. 2. Деталь «крючок»

Заготовка обрабатывалась по часовой стрелке электродом – проволокой с диаметром 0,25 мм. В качестве рабочей жидкости выбрана дистиллированная вода. Режим обработки (табл. 1, где t_{on} – время действия импульса; t_{off} – время бездействия импульса; V – скорость резания; U –

напряжение; I – сила тока) подбирался из условия обеспечения максимальной производительности обработки.

Таблица 1. Режимы ЭО

Параметры ЭО	T_{on} , мкс	T_{off} , мкс	V , мм/с	U , В	I , А
		27	44	4,1	45

Твердость образца после операции проволочно-вырезной ЭЭО составила 40 HRC. В связи с тем, что заготовка имеет малые габариты, тепло не успевает рассеиваться и в процессе обработки происходит наложение зон термического влияния друг на друга, что приводит к структурным изменениям основного металла. На рис. 4 (см. рис. 2 участок А) показаны зоны перегрева (синий цвет). Наибольшая зона термовлияния наблюдается при обходе электродом инструментом углов.

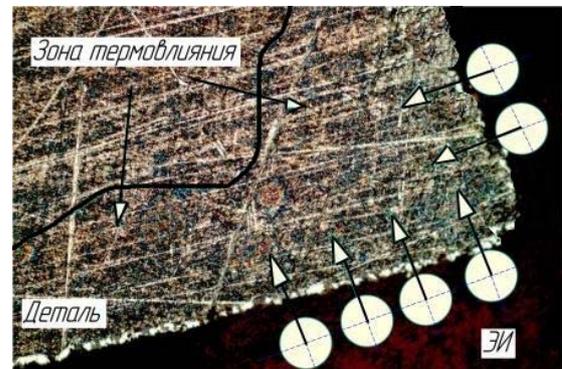


Рис. 4. Зона термического влияния на участке А (x 200)

Повышение температуры нагрева металла приводит к увеличению тепловых напряжений и возникновению пластической деформации. Данные факторы существенным образом влияют на величину погрешности геометрической формы и шероховатости обработанной заготовки. Исследование геометрической погрешности обработанной заготовки показало, что при резке угловых траекторий происходит их округление. На рис. 5 представлена геометрическая погрешность обработки участка Б (рис. 2).

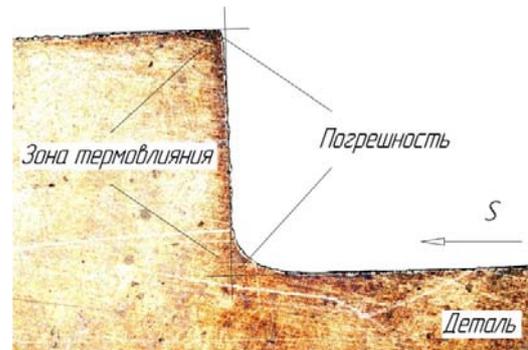


Рис. 5. Геометрическая погрешность обработки на участке Б (x 100)

С целью повышения точности обработки, а также снижения изменений в структуре материала необходимо правильно подобрать режим обработки и преобразовать управляющую программу. В работе [8] для повышения точности вырезания углов предлагается подобрать энергию импульса, обеспечивающую минимальные силовые нагрузки на ЭИ. Уменьшение значения энергии импульса приведет к снижению величины структурных изменений в металле. Энергия импульса рассчитывается по формуле:

$$W_{и} = \int_0^{t_{он}} I(t)U(t)dt, \quad (3)$$

Так как значения I , U и $t_{он}$ на станке задаются оператором и являются постоянными в процессе резания, то энергия импульса равняется:

$$W_{и} = I \cdot U \cdot t_{он} \quad (4)$$

Энергия импульса при обработке заготовки (согласно табл. 1) равняется:

$$W_{и} = I U t_{он} = 2 \cdot 45 \cdot 27 \cdot 10^{-3} = 2,43 \text{ Дж}$$

С целью снижения энергии импульса был выбран режим обработки представленный в табл. 2.

Таблица 2. Режимы ЭО

Параметры ЭО	$T_{он}$, мкс	T_{off} , мкс	V , мм/с	U , В	I , А
		10	21	1,3	45

Энергия импульса при обработке заготовки (согласно табл. 2) равняется:

$$W_{и} = I U t_{он} = 1 \cdot 45 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,45 \text{ Дж}$$

Из табл. 2 видно, что уменьшение $t_{он}$ приводит к снижению производительности обработки, однако предполагается, что с уменьшением энергии импульса произойдут меньшие структурные изменения в металле.

Еще одним условием для снижения геометрической погрешности является преобразованная траектория движения ЭИ. Основываясь на нечетной логике в работе [6] была предложена методика расчета скорректированной траектории

движения инструмента (рис. 6). Скорректированная траектория состоит из двух участков, расположенных под некоторым углом a . Длины l_1 и l_2 , а также величина угла рассчитываются по результатам опытов и экспериментальным данным.

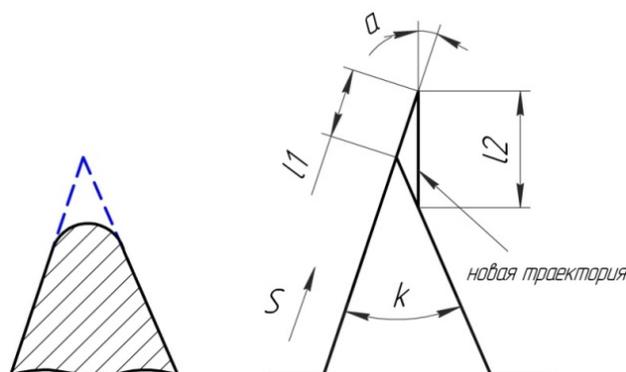


Рис. 6. Корректировка траектории проволоки

Согласно [6] была составлена управляющая программа для вырезания детали «крючок». Суть преобразования заключалась в изменении траектории прохождения углов. Управляющая программа составлялась таким образом, что углы обрабатывались не по сплошной криволинейной траектории, а по отдельным прямолинейным отрезкам, перпендикулярным друг к другу и пересекающимся в вершине угла (рис. 7).

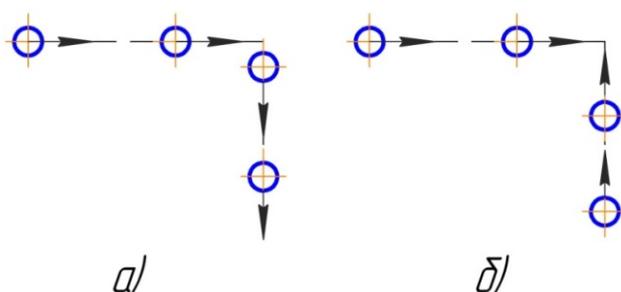


Рис. 7. Траектория обработки угла:
а) первоначальная траектория; б) преобразованная траектория

Деталь, обработанная на скорректированных режимах (табл. 2), представлена на рис. 8а. Величина погрешности при обработке угла оценивается по длине перпендикуляра опущенного из спроецированной вершины угла (точка О) до недорезанной поверхности (рис. 8).

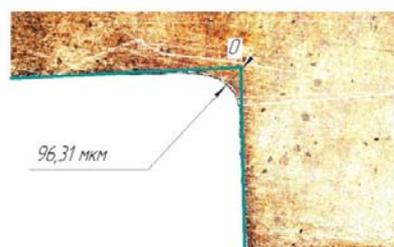


Рис. 8. Погрешность обработки: а) скорректированная технология обработки; б) первоначальная технология обработки

Погрешность при обработке угла при первоначальной технологии изготовления составляла 96,31 мкм. При работе по скорректированной технологии погрешность составляет 65,42 мкм. Таким образом, удалось снизить величину погрешности на 32%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Hsue, W.J.* Fundamental geometry analysis of wire electrical discharge machining in corner cutting / *W.J. Hsue et al.* // *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. 1999. №39. P. 651-667.
2. *Obara, H.* Simulation of Wire EDM / *H. Obara et al.* // *ISEM-12*. 1998. P. 99-108.
3. *Altpeter, F.* Relevant topics in wire electrical discharge machining control / *F. Altpeter, R. Perez* // *Journal of Materials Processing Technology*. 2004. №149. P. 147-151.
4. *Han, F.* Corner error simulation of rough cutting in wire EDM / *F. Han, J. Zhang, I. Soichiro* // *Precision engineering*. 2007. №31. P. 331-336.
5. *Luo, Y.F.* An energy-distribution strategy in fast-cutting wire EDM // *Journal of Materials Processing Technology*. 1995. №55. P. 380-390.
6. *Журин, А.В.* Методы расчета технологических параметров и электродов-инструментов при электроэрозионной обработке: Дисс. канд. техн. наук – Тула, 2005. 132 с.
7. *Фомеев, Н.К.* Технология электроэрозионной обработки. – М.: Машиностроение, 1980. 184 с.
8. *Lin, Chin-Teng.* Improvement of machining accuracy by fuzzy logic at corner parts for wire-EDM / *Chin-Teng Lin, I-Fang Chung, Shih-Yu Huang* // *Journal of Materials Processing Technology*. 1998. №58. P. 210-217.

FEATURES OF ELECTROEROSIVE MACHINING OF SMALL DIMENSIONS DETAILS

© 2011 T.R. Ablyaz, A.M. Khanov, V.V. Sevastyanov

Perm National Research Polytechnical University

In paper the manufacture process of small dimensions details on wire-cut electroerosive machine tool is considered. The structure of surface layer of the processed detail, its roughness, and also the arisen error of the form at machining on curvilinear sections is researched.

Key words: *wire-cut electroerosive machining, form error, structure change, roughness*