

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Расчетные данные в основном согласуются с экспериментальными.
2. Величина температурных деформаций магнитных плит достаточно велика и существенным образом может оказывать влияние на точность обработки деталей партиями.
3. Величина деформаций зависит как от площади магнитных плит, так и от их высоты. При этом, зависимость от площади прямая, а от высоты – обратная.
4. Варьируя площадью и высотой ( $S$  и  $H$ ), можно оптимизировать размеры магнитной плиты, при которых величина статических температурных деформаций будет минимальной.

*Н.П. СОЛНЫШКИН, В.М. КОЗЫРЕВ, А.И. САМАРКИН*

### **АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО СТАНКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ МЕТОДОМ**

Электроэрозионная обработка находит широкое применение в инструментальном производстве, особенно с расширяющимся применением проволочно-вырезных станков с ЧПУ, способных выполнять обработку закаленных сталей и твердых сплавов с весьма высокой точностью.

В настоящее время парк электроэрозионных станков в значительной степени пополняется приобретаемыми за рубежом бывшими в употреблении станками, реальные характеристики которых могут значительно отличаться от паспортных в худшую сторону. С другой стороны, даже удовлетворительно работающее оборудование со временем теряет точность. Таким образом, необходимо контролировать реально достигаемую точность обработки в конкретных производственных условиях.

Для полноценного анализа точности станка с учетом всего многообразия возможных источников погрешностей, необходимо полноценное исследование, с применением таких статистических методов, как планирование эксперимента и регрессионный анализ. Такое исследование требует значительного времени и затрат, а также выводит станок из производственного цикла.

Для комплексной оценки точности оборудования в производственных условиях в большей степени подходит производственный метод, изложенный (для токарной и фрезерной обработки) в работе [1]. В соответствии с указанным методом на исследуемом оборудовании изготавливается типовая деталь-представитель. Форма детали выбирается такой, чтобы при ее изготовлении проявились основные погрешности обработки. Например, для токарной обработки изделие может содержать цилиндрическую поверхность, торец, коническую поверхность и выпуклую или вогнутую сферу.

Электроэрозионная проволочная резка имеет значительную специфику, что проявляется как в специфических источниках погрешностей, так и в выборе характерных элементов, на которых проявляются погрешности обработки.

Подробный обзор источников и видов погрешностей выходит за рамки настоящей работы (см., например, [2,3]), отметим, лишь, что они традиционно разделяются на: возникающие из-за погрешностей станка, режущего инструмента, зажимного приспособления, особенностей заготовки. Для станков с ЧПУ, дополнительно, учитываются погрешности привода и алгоритмов, реализованных в управляющей ЭВМ.

При электроэрозионной проволочной резке можно отметить следующие характерные для указанного вида обработки источники погрешностей:

- Износ направляющих электрод-проволоку фильер (как верхней, так и нижней).
- Отклонение оси электрода от вертикали.
- Упругие деформации электрода от различных силовых воздействий.
- Отклонения параметров режущих электромагнитных импульсов.

Проволочно-вырезные станки, в основном, применяются для резки окон сложной формы в деталях типа матриц вырубных штампов и пуансонов, изготовленных из закаленных сталей. Так как измерения проще осуществлять по наружной поверхности, в качестве комплексной детали выбирается пуансон (см. рисунок).

В настоящей работе исследуется точность обработки станка модели JAPAX LDM50, страна производства – Япония, год выпуска – 1994 г, эксплуатировался в течение 8 лет в Германии, 4 года в России.

Характерными элементами контура детали могут считаться:

- горизонтальные и вертикальные прямые линии (будем условно считать горизонталью – линию реза, параллельную оси X станка, а линию параллельную оси Y – вертикалью),
- наклонные линии реза,
- дуги или окружности.

На горизонталях и вертикалях проявляются погрешности при движении по соответствующим осям, на наклонных линиях – складываются погрешности перемещений по осям и добавляется погрешность линейной интерполяции. Отметим, что износ фильер проявляется во всех случаях, однако вследствие неравномерности указанного износа этот вид погрешностей проявляется по-разному. При обработке окружностей характер погрешностей носит еще более сложный характер, поэтому в настоящей работе он не рассматривается.

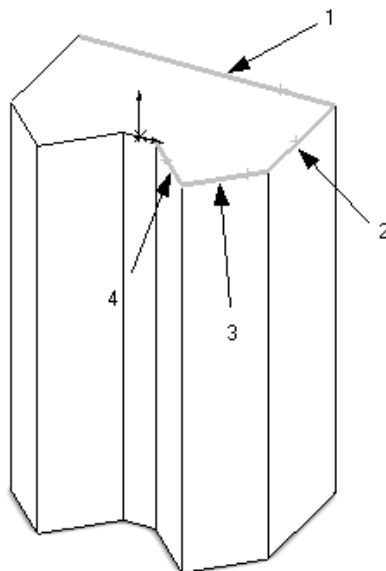


Рис. 1. Деталь-представитель (1,2 – горизонтальный и вертикальный участки, 3,4 – наклонные участки (под углом 45 градусов))

Для измерения применяется большой инструментальный микроскоп, условия измерений – регламентированы ГОСТ.

При измерении деталь устанавливается на шлифованный торец. Поскольку выровнять стороны пуансона точно по горизонтали или вертикали весьма затруднительно, применялась следующая методика измерений и устранения систематических погрешностей установки.

Профиль пуансона измерялся через 0,01 мм, причем фиксировались координаты как по оси X так и Y. Далее методом наименьших квадратов строится уравнение регрессии, соответствующее систематической погрешности установки изделия. После исключения систематической погрешности оставшиеся невязки можно считать обусловленными погрешностями обработки.

По результатам статистической обработки результатов измерений получены следующие характеристики:

- Стандартное отклонение при резке вдоль оси X – 4,15 мкм.
- Стандартное отклонение при резке вдоль оси Y – 2,47 мкм.
- Стандартное отклонение при резке по наклонному участку – 7,94 мкм.

Если принять гипотезу о нормальном распределении случайных погрешностей, то согласно правилу  $6\sigma$  максимальные расчетные погрешности составят:

Таблица 1

Расчетные погрешности резания			
Направление	Y	X	XY
	<i>мкм</i>	<i>мкм</i>	<i>Мкм</i>
Стд.откл.	2.47	4.15	7.94
Макс.	14.82	24.9	47.64
погрешность	+/-7.41	+/-12.45	+/-23.82

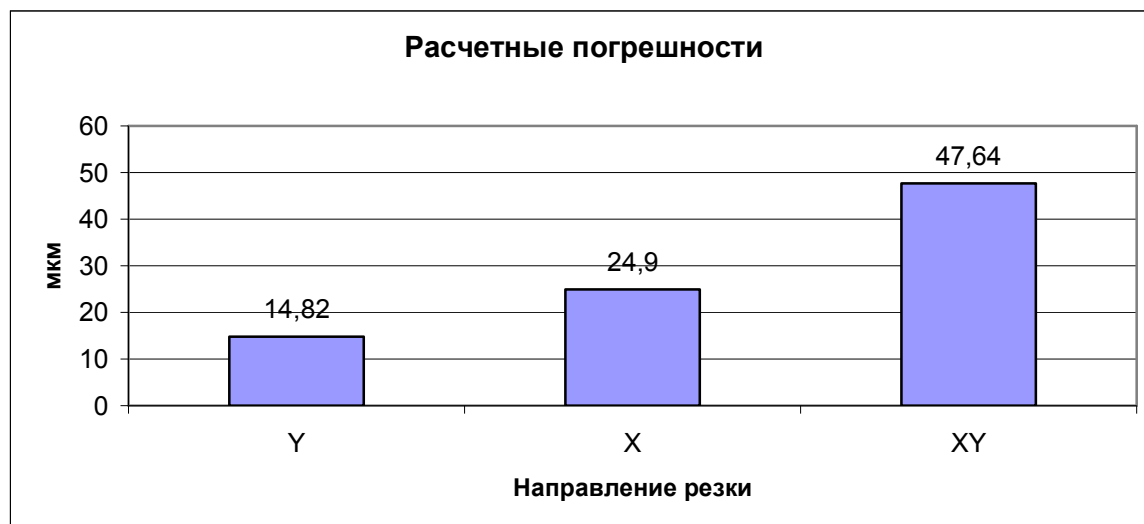


Рис. 2. Расчетные погрешности резания (по правилу  $6\sigma$ )

По результатам исследования можно сделать следующие выводы: привод станка отличается относительно высоким качеством. Износ фильер носит неравномерный характер и проявляется в основном при резке в направлении по оси X. При резке наклонных участков, как и следовало ожидать, наблюдается наиболее высокая погрешность резания вследствие суперпозиции отдельных погрешностей.

Представим дисперсию при наклонной резке в виде суммы дисперсий погрешностей по осям координат и некоторой неизвестной случайной величины, тогда (при условии аддитивности погрешностей):

$$\sigma_{xy}^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_{доп.}^2 \quad (1.1)$$

здесь:

$\sigma_x^2, \sigma_y^2$  - дисперсия погрешности при резе вдоль оси X и Y соответственно,

$\sigma_{xy}^2$  - дисперсия погрешности при резе по наклонному участку

$\sigma_{доп.}^2$  - дисперсия необъясненной случайной составляющей.

Из зависимости (1.1) можно оценить стандартное отклонение необъясненной составляющей как

$$\sigma_{доп.} = \sqrt{\sigma_{xy}^2 - \sigma_x^2 - \sigma_y^2} = 6.3 \text{ мкм} \quad (1.2)$$

Предположительно, такая высокая величина дополнительной погрешности может быть объяснена влиянием двух факторов: устаревшей реализацией линейного интерполятора станка (наклонная линия получается поочередным перемещением вдоль одной координаты, вместо совместного управления двумя координатами) и перекладкой электрода-проволоки силами резания по изношенной части направляющей фильеры.

Анализ периодограмм измерений (не приводятся ввиду ограниченного объема работы) по наклонным участкам показывает, что существует статистически значимая связь между погрешностями резания на соседних шагах, что отражает особенности реализации алгоритма линейной интерполяции стойкой ЧПУ станка.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. **Васильев В.Л.** Комплексный анализ точности обработки производственным методом. Псков, ППИ 2006. - 32 с.
2. **Самаркин А.И., Козырев В.М.** Технология электроэрозионной резки. Псков, ППИ 2007. - 80 с.
3. **Немилов Е.Ф.** Справочник по электроэрозионной обработке материалов. - Л.: Машиностроение, 1984. - 166 с.
4. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки. Под общ. Ред. Волосатова В.А.- Л.: Машиностроение, 1988