

УДК 621.1.9

Т.Р. Абляз, П.В. Максимов

T.R. Abylaz, P.V. Maksimov

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Perm National Research Polytechnic University

**ДИНАМИКА РЕЖУЩЕГО ЭЛЕКТРОДА
ПРИ ПРОВОЛОЧНО-ВЫРЕЗНОЙ
ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКЕ**

**DYNAMICS OF CUTTING ELECTRODE DURING
WIRE ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING**

Рассмотрен процесс обработки деталей электродом-проволокой на проволочно-вырезном электроэрозионном станке. Описаны факторы, влияющие на возникновение погрешности. Предложена модель, позволяющая рассчитать и проанализировать колебания электрода-проволоки.

Ключевые слова: электроэрозионная обработка, проволочно-вырезная электроэрозионная обработка, поперечные колебания, собственные формы колебаний, электрод-инструмент.

The process of wire electrical discharge machining parts by wire electrode was considered. Describes the factors influencing the occurrence of error. Model allowing to calculate and analyze the fluctuations of the electrode-wire was proposed.

Keywords: electrical discharge machining, wire and spark erosion cut-out, transverse vibrations, own waveform, electrode tool.

Электроэрозионная обработка, в частности резание металлов и иных токопроводящих материалов, основана на локальном термическом воздействии, вызванном электростатическим пробоем между режущим инструментом – металлической проволокой, и поверхностью обрабатываемой детали [1]. Режим обработки в большинстве случаев задается следующими параметрами: силой тока и напряжением на электроде и детали, частотой и профилем пульсации переменного тока.

Электростатический пробой между поверхностями режущей проволоки электрода и обрабатываемой деталью образуется в том месте, где расстояние между этими поверхностями минимально [1–4]. Место возникновения пробоя зависит от профиля режущего инструмента, в реальных системах носит стохастический характер, в интегральном смысле приводит к образованию ше-

роховатостей на обрабатываемой поверхности, параметры которой зависят от управляющих параметров.

В силу физической сложности процесса обработки, связанного со случайным характером возникновения пробоя между взаимодействующими поверхностями, в результате резания детали гибким электродом-проволокой (струной) возможно возникновение пробоев, направленных не в плоскости резания. Это приводит к появлению силы, приложенной к натянутой проволоке в направлении, перпендикулярном направлению реза, в результате чего в натянутой проволоке (струне) возникают паразитные поперечные колебания, приводящие к нарушению плоскостности боковой поверхности реза, появлению геометрических отклонений размеров и профиля реза от проектировочных (рисунок) [1, 2].

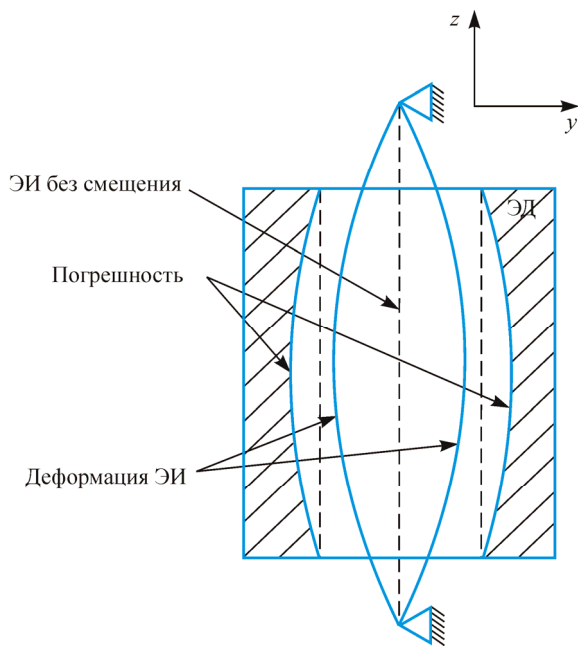


Рис. Формирование боковых поверхностей реза

На сегодняшний день актуальной является задача минимизации паразитных колебаний режущего инструмента с целью повышения точности электроэрозионной обработки.

Для описания вынужденных колебаний натянутой проволоки, являющейся в данном случае режущим инструментом, часто применяют уравнение колебаний струны [3, 4]:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + 2m \frac{\partial u}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

с заданными краевыми условиями

$$u|_{t=0} = f(x), \quad \frac{\partial u}{\partial t}|_{t=0} = g(x)$$

и граничными условиями

$$u|_{x=0} = 0, \quad u|_{x=l} = 0.$$

При этом возникает вопрос о корректном задании внешних воздействий, приводящих к нестационарным вынужденным колебаниям струны. Данная проблема может быть решена двумя способами. При первом подходе для описания внешних воздействий на струну рассматриваются все физические процессы, реально проявляющиеся при электроэрозионном процессе резания металла, к которым относятся: электростатический пробой, вызванный разностью потенциалов на электроде и обрабатываемой поверхности; силы притяжения Кулона между взаимодействующими поверхностями; электродинамические силы; локальный температурный нагрев обрабатываемой поверхности и проводящей среды, приводящий к локальному тепловому расширению среды и локальному повышению гидростатического давления со стороны жидкости в канале разряда, и т.д. Учет всех возможных взаимодействий представляется сложно реализуемым с технической точки зрения. Имеются работы, где подобный подход реализован с применением численных методов математического моделирования, с применением ANSYS CFX и аналогичных пакетов инженерного анализа, однако решения получены для частных случаев и результаты плохо применимы для формулирования аналитических зависимостей между силовыми факторами и параметрами вынужденного движения струны.

В данной работе предлагается применить иной подход, при котором не рассматривается физическая природа вынуждающей силы. Присутствующие в реальной системе электростатические и электродинамические силы малы, частота изменения внешних сил далека от собственной частоты колебаний режущего инструмента, поэтому представляется возможным решение линейной задачи о вынужденных колебаниях, в которой амплитуда колебаний проволоки будет пропорциональна внешней силе. При этом закон вынужденного движения проволоки ищется в виде линейной комбинации собственных форм колебаний струны, взятых с некоторыми коэффициентами [3], величина которых определяется в процессе решения динамической задачи. На амплитуду паразитных колебаний режущей проволоки влияют управляющие параметры (законы изменения силы тока и напряжений, сила натяжения проволоки), а также свойства материалов проволоки и разрезаемой детали. Следует выполнить ряд натуральных экспериментов с целью определения влия-

ния перечисленных параметров на характеристики обрабатываемой поверхности: неплоскостность, шероховатость и т.д., – значения которых могут быть определены путем измерения локальных отклонений на координатно-измерительной машине и построения профилограмм обрабатываемой поверхности. Общие закономерности влияния рассматриваемых управляющих параметров на исследуемые характеристики могут быть получены путем проведения регрессионного анализа полученных экспериментальных данных. Примеры полученных профилограмм приведены в работе [2].

При анализе значений на профилограммах целесообразно проведение Фурье-анализа с целью выявления тех гармоник, которые вносят наибольший вклад в вынужденное движение режущего инструмента. Впоследствии при решении динамической задачи методом разложения по собственным формам в ряду можно будет оставлять только значимые слагаемые-гармоники.

Определенные таким образом значения динамических прогибов натянутой проволоки позволяют даже без рассмотрения реальной физической природы вынуждающих сил проводить исследования вынужденных колебаний режущего инструмента; определять величины геометрических погрешностей, вызванных паразитными колебаниями проволоки в направлении, перпендикулярном направлению реза; подбирать управляющие параметры и режимы реза, соответствующие заданным требованиям к точности поверхности реза и ее шероховатости.

Список литературы

1. Абляз Т.Р. Изучение погрешности формы, возникающей при обработке криволинейных поверхностей на проволочно-вырезном электроэрозионном станке // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Машиностроение, материаловедение. – 2011. – Т. 13, № 3. – С. 51–54.
2. Иванов В.А., Абляз Т.Р. Повышение точности обработки деталей на проволочно-вырезном электроэрозионном станке // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Машиностроение, материаловедение. – 2012. – Т. 14, № 2. – С. 67–70.
3. Puri A.B., Bhattacharyya B. Modelling and analysis of the wire-tool vibration in wire-cut EDM // Journal of Materials Processing Technology. – 2003. – № 141. – P. 295–301.
4. Абляз Т.Р., Иванов В.А. Расчет вибрации электрода-инструмента в процессе электроэрозионной обработки // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Машиностроение, материаловедение. – 2012. – Т. 14, № 3. – С. 22–26.

Получено 2.09.2013

Абляз Тимур Ризович – аспирант, лауреат премии «Инженер года», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: lowrider11-13-11@mail.ru).

Максимов Петр Викторович – кандидат технических наук, доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: pvmperm@mail.ru).

Abyaz Timur Rizovich – Graduate Student, Engineer of the Year award winner, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: lowrider11-13-11@mail.ru).

Maksimov Petr Victorovich – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: pvmperm@mail.ru).