

Небылица Ю.Н.

Интеграция системы экспресс-диагностики процесса электроэрозионного проволочного вырезания в технологическое оснащение

*Небылица Юрий Николаевич,
старший преподаватель кафедры информационных систем и медицинских технологий
Черкасский национальный университет имени Богдана Хмельницкого, м. Черкассы, Украина*

Аннотация. В статье изложены результаты работ по интегрированию модуля экспресс-диагностики процесса электроэрозионного проволочного вырезания в технологическое оснащение. Отражены особенности методов оценки качества электроэрозионного вырезания без остановки процесса обработки, основанных на анализе выделяемой в межэлектродном промежутке энергии импульсов технологического тока. Описаны подходы к оценке эффективности работы основных систем электроэрозионных проволочных вырезных станков. Представлен анализ аппаратного и программного обеспечения, необходимого для реализации изложенных подходов.

Ключевые слова: электроэрозионное проволочное вырезание, экспресс-диагностика, система управления технологическим процессом, система числового программного управления

Введение

Физическое старение систем и узлов электроэрозионных проволочных вырезных станков (ЭЭПВС) приводит к снижению их производительности и точности, увеличению шероховатости обработанной поверхности. В инструментальном производстве эксплуатация станков с отклонениями в технологическом процессе (ТП) по точности свыше 10 мкм, по шершавости обработанных поверхностей свыше 2 мкм для чистовых и 6 мкм для черновых режимов обработки недопустима [1]. В случае наличия таких отклонений в ходе ТП обрабатываемая деталь будет непоправимо испорчена, поскольку её качество возможно определить лишь в конце ТП вследствие недоступности для наблюдения зоны обработки.

Определение пригодности ЭЭПВС к обработке детали с определенными технологическими требованиями нуждается в данных о состоянии составляющих технологического оснащения (ТО) как перед началом, так и на протяжении обработки. Прогнозирование на основе анализа результатов предшествующих процессов обработки не гарантирует качество текущего в силу отличий траектории обработки, физико-химических свойств материала заготовки, наличия влияния внешних факторов. Не является выходом уменьшения срока между техническим обслуживанием ЭЭПВС, поскольку это увеличивает накладные затраты на эксплуатацию, требует остановки общего технологического цикла, что в целом уменьшает эффективность электроэрозионного оборудования.

Следует отметить, что в современной технике наблюдается тенденция непрерывного усложнения оборудования и технологических процессов. В связи с этим такие показатели как надежность и эксплуатационная стабильность в большинстве случаев являются определяющими при выборе оборудования. Улучшение этих показателей неразрывно связано с использованием технической диагностики, что способствует бурному развитию этого направления техники [2]. В частности, детально разработана и эффективно используется техническая диагностика металлорежущих станков [3], но, в силу отличия процессов и строения ТО, непосредственный перенос полученного опыта и наработок на диагностирование ЭЭПВС невозможен. Только некоторые из них могут быть использованы, и то лишь в рамках очертания базовых подходов. Следовательно, задача внедрения методов диагностирования

ТП электроэрозионного вырезания (ЭЭВ) и оценки состояния ЭЭПВС является актуальной.

Цель и задачи исследования

Ввиду оперативности проведения диагностирования ТП ЭЭВ и оценки работоспособности составных узлов ЭЭПВС без остановки обработки, в последующем такие работы будем называть экспресс-диагностикой (ЭД) ЭЭВ, а систему, которая будет выполнять эти работы – системой экспресс-диагностики (СЭД). Функциональным назначением СЭД является:

- оценка мгновенного состояния технологического процесса;
 - оценка работоспособности систем ЭЭВ;
 - определение развития отклонений в процессе вырезания;
 - прогнозирования показателей качества детали, полученной в процессе обработки;
 - определения вида и параметров компенсации, направленной на устранение отклонений в ТП.
- Целью работы является определение способа реализации и технических требований к модулю экспресс-диагностики процесса ЭЭВ. Для достижения цели были решены следующие задачи:
- анализ физических процессов и факторов, которые имеют место при ЭЭВ;
 - анализ технологических особенностей протекания ЭЭВ и схемы получения изделия;
 - анализ строения технологического оснащения;
 - определение входных данных, несущих информацию о параметрах качества обработки и характере отклонений в ТП;
 - анализ методов оперативного контроля качества поверхности, полученной путем ЭЭВ;
 - определение подходов интеграции СЭД на аппаратном уровне;
 - определение подходов интеграции СЭД на программном уровне.

Физико-технологические основы экспресс-диагностики ЭЭВ

Построение СЭД ЭЭВ должно проводиться с учетом физических и технологических особенностей, а также особенностей строения ЭЭПВС, которые рассмотрим подробнее. С физической стороны процесс ЭЭ обработки состоит в непрерывном образовании и удале-

нии из зоны обработки частиц металла и других продуктов эрозии. Среди факторов, которые определяют протекание указанных явлений, наиболее весомым есть энергия, которая выделяется в системе электрод-инструмент – межэлектродный промежуток (МЭП) – электрод-деталь. Уровень и скорость поступления энергии в МЭП влияют как на электрические и тепловые процессы в промежутке на всех стадиях искрового пробоя, так и на тепловые, гидродинамические, процессы восстановления начального состояния канала на стадиях, которые следуют после окончания поступления энергии от импульса тока.

Амплитуда выделения энергии в МЭП определяется, с одной стороны, параметрами генератора импульсов, т.е. установочным значением напряжения, внутренним сопротивлением и индуктивностью, параметрами коммуникационных соединений, а с другой – начальным и разрядным сопротивлением канала. Поскольку указанные элементы электрической цепи соединены последовательно, то их активные и реактивные сопротивления будут складываться, что определит амплитуду тока и связанную с ним амплитуду энергии. Изменения сопротивления одного из элементов электрической цепи во время подачи импульсов технологического тока вызовет динамические изменения в выделении энергии и, следовательно, неравномерность эрозионного снятия металла. Анализ выделения энергии в МЭП позволяет определять качество обработки, поскольку уровень и характер выделения энергии определяют глубину и диаметр образованных лунок и толщину структурно измененной зоны (белого слоя). Следует подчеркнуть, что приведенные звенья электрической цепи имеют присущий только им частотные и шумовые свойства, по которым возможно провести их идентификацию и определить степень эффективности их работы [3, 4].

С технологической стороны, регистрация энергетических сигналов не влияет на процесс обработки, и предоставляет возможность проводить регулярное диагностирование во время обработки контура детали. Таким образом, использование энергетических сигналов для определения особенностей хода ЭЭ вырезания, функциональной способности основных систем и для прогнозирования качества полученных поверхностей есть возможным и эффективным.

Выделение энергии в МЭП следует поделить на два вида: от одиночного импульса $E_m^{(1)}$ и от действия последовательности M импульсов $E_m^{(M)}$, которое следует рассматривать как коллективные процессы по высоте реза. Несмотря на то, что величина удаленного объема на единичный импульс зависит от многих факторов, для разработки методов диагностики и прогнозирования результатов обработки важно связать удаленный объем с энергией импульса. В качестве такой связи выбран коэффициент объемного снятия материала, который является усреднением удельного съема металла каждого импульса. Рассмотрим его определение. Пускай вследствие выделения энергии от M импульсов произошло вырезание паза длиной l_θ , что эквивалентно снятию объема материала заготовки $V_\theta = l_\theta \cdot (d_{ПЭИ} + 2 \cdot \delta_{МЭП}) \cdot H_\theta$, где $d_{ПЭИ}$ – диаметр

проволочного электрода-инструмента (ПЭИ); $\delta_{МЭП}$ – величина зазора МЭП; H_θ – высота заготовки. Учитывая, что за мгновенными значениями положений (по данным ЧПУ) определяется l_θ , а технологические параметры $d_{ПЭИ}$, $\delta_{МЭП}$ и H_θ известны, то коэффициент объемного снятия материала вычисляется по формуле $k_v = V_\theta / E_m^{(M)}$.

Также несложно определить место выделения энергии вдоль ПЭИ. Для этого нужно с помощью одновитковых трансформаторов снять величины токов I_n и I_θ , соответственно, нижнего и верхнего токоподводов, и по их значениям вычислить координату разряда от текущего импульса по формуле:

$$z(I_n, I_\theta) = L_m \cdot (I_n / I_\theta + 1)^{-1} - l_{n,m},$$

где L_m – расстояние между токоподводами, а $l_{n,m}$ – расстояние от токоподвода до кромки заготовки.

Определение коэффициента объемного снятия материала $k_v = V_\theta / E_m^{(M)}$ и координаты $z(I_n, I_\theta)$ играет исключительно важную роль в реализации методов экспресс-диагностики, которые будут изложены ниже.

Методология экспресс-диагностики процесса ЭЭВ

Разнообразие методов, позволяющих проводить мониторинг ТП ЭЭВ, уступает количеству методов технической диагностики металлорежущих станков, но они, по состоянию на сегодня, представляют собой основу методологии экспресс-диагностики. Кратко рассмотрим их ниже.

Методы диагностики функционального состояния основных систем ЭЭПВС, которые базируются на анализе спектральной плотности выделения энергии при электроэрозионной вырезке, изложены в [5]. Данные методы путем незначительного изменения параметров ТП позволяют связать аномальную полосу частот с отклонениями в функционировании конкретной системы, подсистемы или модуля. Их недостатком являются значительные вычислительные затраты.

Способ контроля состояния электроэрозионного процесса резания [6], также как и метод [4], основаны на статистическом анализе энергии импульсов. Селективность данных методов по функциональному состоянию низкая. Удобны на первичной стадии диагностики, например, для обнаружения момента появления отклонений ТП.

Такие методы, как определение прогиба проволочного электрода [7] и шероховатости поверхности [8] в процессе ЭЭВ, относятся к группе экспресс-контроля ТП. Используя эти методы, возможно получить прогноз показателей качества поверхности обрабатываемой детали.

Анализ, изложенных методов, проведенный с точки зрения их реализации, установил, что СЭД должна оперативно получать массивы данных величины тока и места прохождения разрядов, мгновенные значения положения ПЭИ, а также влиять на параметры ТП ЭЭВ. По этой причине, обеспечить высокую эффективность экспресс-диагностики процесса вырезания возможно лишь при достижении оптимальной интеграции СЭД в технологическое оснащение.

Интеграция СЭД на аппаратном уровне

Строение современных ЭЭПВС, несмотря на разнообразие конструкций, имеет типичную структуру, которую удобно рассматривать исходя из особенностей осуществления ТП электроэрозионной обработки. На функциональной схеме, приведенной на рис. 1, процесс ЭЭВ представлен как объект управления, представляющий собой заготовку п. 1, ПЭИ п. 2, токоподводы п. 4, сопла промывки п. 5. Основой процесса ЭЭВ является импульсное воздействие в виде электрического разряда п. 3, происходящее в МЭП, вызывающее эрозию заготовки и образование паза. Вследствие выделения в ограниченном пространстве и за короткое время энергии от серии разрядов образуется область высокого давления, что вызывает локальную деформацию ПЭИ и поперечную волну возмущения. Удержание электрода в оптимальном положении осуществляется натяжением T_n . Перемоткой ПЭИ со скоростью V_n достигается минимизация влияния его износа на параметры ЭЭВ. Вследствие отклонения формы и размера ПЭИ, а также наличия трения в направляющих (на рис. 1 не показаны) при перемотке имеют место поперечные колебания. Суперпозиция колебания ПЭИ от разных источников задаст характер пространственно-временной флуктуации энергии в МЭП.

Обобщая изложенное, под определением «внутренние возмущения» следует понимать динамические вторичные процессы, которые влияют на ЭЭВ и обусловлены как текущим состоянием оборудования, так и физическими явлениями ТП. Кроме внутренних возмущений, на результаты обработки могут оказывать влияние внешние воздействия: температура и давление окружающей среды, колебания механической и электромагнитной природы и т.п..

Соблюдение необходимых параметров и состояния объекта управления обеспечивает управляющий объект, состоящий из основных систем ЭЭПВС, выделенных п. 6 – п. 12 (на рис. 1 обозначены пунктирной областью). Воздействие на процесс ЭЭВ осуществляется через систему позиционирования ЧПУ и координатный стол п. 7, источник технологического тока ГКИ, систему перемещения ПЭИ п. 11 и промывки п. 12.

Между объектом управления и управляющим объектом присутствуют обратные связи по перемещению и нагрузке на ПЭИ. Для осуществления экспресс-диагностики наибольшее значение имеет обратная связь по нагрузке, как правило, поддерживаемая датчиком тока или датчиком падения напряжения на ПЭИ. Сигнал из датчика поступает на систему адаптивного управления, которая, собственно, и определяет регулировочное действие на объект управления. Оно осуществляется, в основном, посредством изменения величины МЭП и параметров импульсов технологического тока. Для современных ЭЭПВС, которые характеризуются высоким уровнем автоматизации [1], целесообразно рассматривать систему адаптивного управления как систему управления технологическим процессом (СУТП). Следует отметить, что автоматизация охватывает практически все подсистемы ЭЭПВС, т.е. на них возможно воздействовать программным путем – изменять их параметры и режимы работы или включать-выключать. Это позволяет реа-

лизировать программно-селективное диагностирование, которое широко используется в средствах технической диагностики, в частности, для диагностики металлорежущих станков

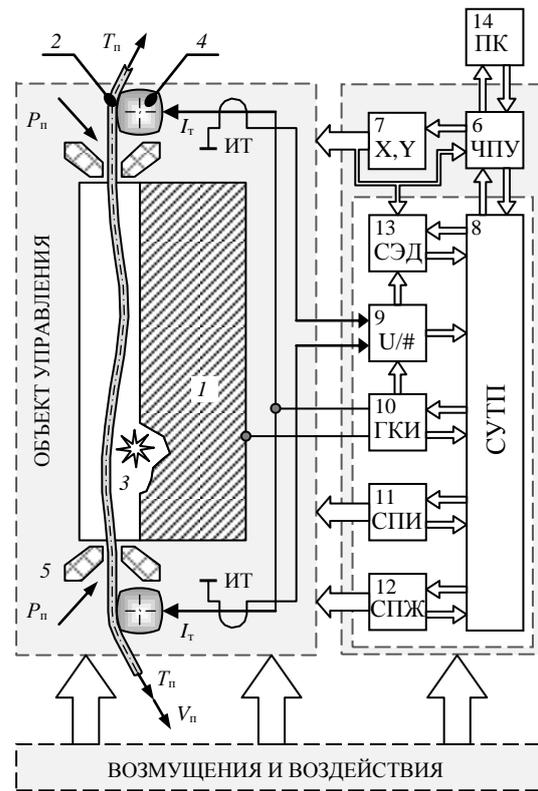


Рис. 1 Функциональная схема ЭЭВ

Анализ функциональной схемы позволил определить место подключения и функциональные связи СЭД с другими системами ЭЭПВС. Исходя из критерия минимизации связей, наиболее оптимальным местом подключения является выход из ТП, постольку это наиболее приближенная к конечному изделию точка функциональной схемы. Для проведения селективного экспресс-контроля необходимо формировать нормированные возмущения, что обеспечивается связью между СУТП, системой перемещения ПЭИ и системой технологического обеспечения. Дополнительным сигналом СЭД является мгновенная координата обработки, служащая мерой ЭЭВ.

Поскольку форма деталей инструментального производства сложная и ее получение требует многопроходной обработки, то их проектирование целесообразно выполнять с помощью САД/САМ систем, а корректировку ТП осуществлять встроенными в СУТП и ЧПУ настройками и опциями. Для реализации такого подхода необходимо обеспечить подключение к локальной сети или персональному компьютеру (п. 14 рис. 1).

Интеграция СЭД на уровне программного обеспечения

Проектирование программного обеспечения (ПО) СЭД следует выполнять исходя из принципов модульности и централизации управления, то есть каждый модуль должен выполнять одну или группу функций, которые могут иметь общие входные данные, но между собой

они независимы, хотя и контролируются одним ядром – диспетчером диагностирования.

ПО работает следующим образом. В автоматическом режиме работы подпрограмма (ПП) системного таймера запускает новый цикл диагностирования, в случае ручного управления такой запуск может проводить ПП канала связи или ПП пульта ручного управления. Диспетчер диагностирования на основе данных менеджеров ресурсов и параметров, а также внутреннего состояния, определяет вид диагностирования и формирует запрос на его проведение. Модуль диагностирования формирует выборку, подключается к СУТП, проводит селективную диагностику систем ЭЭПВС, определяет прогиб и уровень колебаний ПЭИ, состояние паза и качество промывки. Модуль обработки информации на основе данных о структуре отклонений выполняет определение вида и уровня отклонений технологического процесса и аппаратного обеспечения. Полученные данные могут поступать к диспетчеру диагностирования или к модулю прогнозирования развития отклонений. На основе прогноза модуль устранения (коррекции) отклонений определяет стратегию их устранения, для чего получает до-

полнительные данные от диспетчера диагностирования и передает ему результаты работы.

Полученные результаты диагностирования и варианты их устранения диспетчер диагностирования выводит на монитор для информирования оператора.

Выводы

По результатам исследования можно сформулировать следующие выводы:

1. Выделение энергии от импульсов технологического тока определяет качественные показатели ТП ЭЭВ и несет информацию о работе составных частей ЭЭПВС.

2. На текущий момент времени методы экспресс-диагностики достаточно разработаны и пригодны для мониторинга ЭЭВ.

3. Только с использованием СЭД возможно гарантировать качество изделий, что обусловлено своевременностью и точностью определения отклонений в протекании ТП, учета действия внешних факторов и более гибким регулированием параметров обработки.

4. Современное состояние микроэлектроники и программного обеспечения позволяет реализовать СЭД для ЭЭПВС, работающую в режиме реального времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кохан Ю. Прецизионная электроэрозионная обработка: Аналитический обзор ВНИИТЭМР. – М.: Минстанкопром СССР, 1990. – 36 с.
2. Проников А.С. Программный метод испытания металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1985. – 288 с.
3. Невельсон М.С. Автоматическое управление точностью обработки на металлорежущих станках. – Л.: Машиностроение, 1982. – 184 с.
4. Небилиця Ю.М., Осипенко В.І. Методика реєстрації енергії імпульсів технологічного струму в процесах електроерозійної обробки // Наукові нотатки: Міжвузівський збірник (за напрямом «Інженерна механіка»). – 2001. – Випуск 8. – С. 183-190.
5. Небилиця Ю.М., Дідковський Р.М., Калейніков Г.Е. Спектральна щільність виділення енергії при електроерозійному вирізання // Вісник Житомирського інженерно-технологічного університету: Технічні науки. – 2002. – № III (22). – С. 46-54.
6. Пат. № 40075 Україна, МПК В23Н 1/00. Спосіб контролю стану електроерозійного процесу різання / Небилиця Ю.М., Поляков С. П., Калейніков Г. Е.; опубл. 16.07.2001, Бюл. №6.
7. Небилиця Ю.М., Осипенко В.І. Методика визначення прогину дрютяного електрода без зупинки процесу електроерозійного вирізання // Вісник Черкаського інженерно-технологічного інституту. – 2001. – №3. – С. 205-210.
8. Білан А.В., Котельников Д.І., Небилиця Ю.М. Визначення шорсткості поверхні у процесі електроерозійного вирізання // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія: «Технічні науки». – 2002. – №15. – С. 83-94.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Kohan Yu. Precision electro-discharge machining: Analytical review of VNIITEMR. – M.: Minstankoprom USSR, 1990. – 36 p.
2. Pronikov A. The software testing method of machine tools. – M.: Engineering, 1985. – 288 p.
3. Nevelson M.S. Automatic control of precision processing machine tools. – L.: Engineering, 1982. – 184 p.
4. Nebilitsa Yu.M., Ossipenko V.I. Methods of registration of energy pulses of technological current in process of electroerosive machining // Scientific Notes: Interuniversity collection (in "Engineering Mechanics"). – 2001. – Issue 8 – P. 183-190.
5. Nebilitsa Yu.M., Didkovskiy R.M., Kalyeynikov G.E. The spectral density of energy release during electroerosive cut // Bulletin of Zhytomyr Engineering and Technological University: Engineering. – 2002. – № III (22). – P. 46-54.
6. Patent of Ukraine number 40 075, МПК В23Н 1/00. Method of controlling state electroerosive cutting process / Nebilitsa Yu.M., Polyakov S.P., Kalyeynikov G.Ye.; publ. 16/07/2001, Bull. № 6.
7. Nebilitsa Yu.M., Ossipenko V.I. Method of determining of the deflection of wire electrode without stopping the process of electroerosive cutting // Bulletin of Cherkasy Engineering and Technological Institute. – 2001. – №3. – P. 205-210.
8. Bilan A.V., Kotelnikov D.I., Nebilitsa Yu.M. Determination of surface roughness in the process of electroerosive cut // Bulletin of Chernihiv State Technological University. Series: "Engineering". – 2002. – №15. – P. 83-94.

Nebylyticia Yu.M. The integration of the rapid diagnostics of EDM wire cutting into technological equipment

Abstract. The article deals with the problem of the integration of the rapid diagnostics subsystem into the technological equipment of the EDM wire-cutting machines. The features of methods of quality estimation of electro-erosive excision without the stopping of processing which are based on the analysis of the energy of impulses of technological current selected in an interelectrode interval are reflected here. The approaches to assessing the performance of the main systems of EDM wire-cutting machines are described. The analysis of the hardware and software needed to implement the approaches set out in the submitted article is presented.

Keywords: EDM wire cutting, rapid diagnosis, process control systems, CNC systems