

Ю. В. Турыгин, д-р техн. наук, проф., turygin@istu.ru, С. А. Платов, аспирант, serge.platov@gmail.com, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

Исследование особенностей обработки торцов пружин горячей навивки методом плазменной резки с использованием робототехнического комплекса

Рассматривается обработка торца пружины методом плазменной резки на робототехническом комплексе (РТК). Выявлены недостатки в его работе и разработаны методы по их устранению. Предложена новая технология процесса обработки торца пружины. На основании новых требований сформулированы задачи для модернизации системы управления РТК. Разработана новая функциональная схема, изготовлена действующая система управления РТК.

Ключевые слова: робототехнические системы, промышленный робот, система управления, промышленный контроллер, плазменная резка, пружины

Введение

Пружина — упругий элемент, предназначенный для накопления или поглощения энергии. Существуют две основные технологии ее изготовления из прутков круглого сечения: диаметром до ~ 10 мм пружины изготавливают методом холодной навивки (без нагрева прутка) на специальных навивочных станках; при большем диаметре прутка его предварительно нагревают до температуры ~ 1000 °С и в этом состоянии выполняют навивку. Пружины, изготовленные таким методом, называют пружинами горячей навивки.

Производство пружинных изделий имеет практическое применение в таких отраслях промышленности, как энергетическая, нефтегазовая, инструментальные производства и др. Особо следует отметить применение пружин на железнодорожном транспорте, грузооборот которого составил в 2012 году 89,6 % от общего грузооборота в РФ [1]. Повышение объемов железнодорожных перевозок достигается, в том числе, за счет строительства новых железных дорог и увеличения парка подвижного состава, основой которого являются железнодорожные грузовые и пассажирские вагоны.

Основным компонентом ходовой части железнодорожного вагона является вагонная тележка, в состав которой входит пружина. Обеспечение надежного прилегания ее торцов к посадочному месту рамы с одной стороны и буксовому узлу — с другой, является одним из важных факторов долговечной работы вагонной тележки.

Технология обработки торцов пружин

Технологический процесс изготовления пружин включает в себя несколько операций: входной ультразвуковой контроль, навивка прутка (включая нагрев), высокотемпературный отпуск, обработка торцов пружин, обжиг, поверхностное упрочнение и окраска. На сегодняшний день "узким" местом является обработка торцов, назначение которой — получение "плоской" поверхности торцов для обеспечения прилегания пружины к посадочным

местам вагонной тележки. Существует несколько технологических решений для данной технологической операции:

- использование вальцованных прутков [1]. Данная технология подразумевает использование в качестве заготовки для навивки пружин прутка с оттянутыми (вальцованными) концами, при этом первый конец прутка должен быть ориентирован перед навивкой, а последний ориентирован относительно первого определенным образом, чтобы после навивки торцы пружины имели отклонение от плоскостности в допуске, определенном нормативно-технической документацией. Сам процесс оттяжки концов представляет следующую последовательность действий: нагрев концов прутка до температуры 1000 ± 50 °С и их формирование (в прямоугольное сечение) на молотах, кузнечных прессах или ковочных вальцах. Данный процесс представляет сложность в части его автоматизации, и на пружинных производствах чаще всего является ручной операцией;
- резка торцов пружин шлифованием [2]. Обработка пружины проводится после ее навивки на шлифовальных станках. Данный метод является оптимальным для обработки пружин, изготовленных из прутка диаметром до 14 мм. При обработке пружин из прутка большего диаметра увеличивается время обработки и повышается расход абразивного инструмента;
- комбинированный метод. "Черновая" обработка торцов пружин выполняется методом плазменной резки. Дальнейшая "чистовая" обработка торцов пружин до соответствия нормативно-технической документации достигается шлифованием.

Автоматизация процесса обработки торцов пружин методом плазменной резки

Среди перечисленных методов обработки торцов пружин, а также дополнительно рассмотренных в работе [3], следует отметить комбинированный метод как один из наиболее выгодных по времени и себестоимости. Структурная схема процесса "черновой" обработки торцов пружин представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема обработки торцов пружин

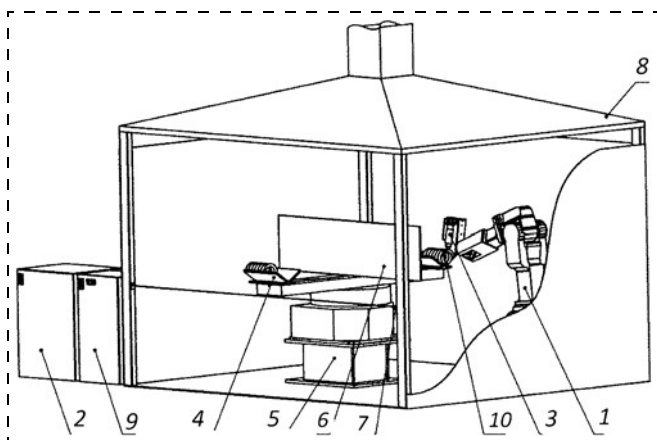


Рис. 2. Робототехнический комплекс:

1 — робот; 2 — оборудование плазменной резки; 3 — резак; 4 — зажимное устройство; 5 — поворотный стол; 6 — защитный экран; 7 — лазерный барьер; 8 — вентиляционная установка; 9 — шкаф управления робота; 10 — обрабатываемая пружина

Робототехнический комплекс (РТК), обеспечивающий работу по данной схеме, представлен на рис. 2. Основным компонентом РТК является промышленный робот 1 типа *Kawasaki FSN-20*, функцией которого является перемещение измерительного и режущего инструментов в зависимости от типа обрабатываемой пружины. Другим, не менее важным компонентом РТК, является оборудование плазменной резки типа *Kjellberg HiFocus 360+*, в состав которого входят силовая установка 2 и резак 3 (являющийся режущим инструментом), обеспечивающее процесс плазменной резки. Базирование и фиксация обрабатываемой пружины осуществляется в зажимном устройстве 4. Поворотный стол оригинальной конструкции 5 с защитным экраном 6 перемещает пружину в зону резки. Обеспечение безопасной работы, а именно, контроль присутствия человека в опасной зоне (зоне обработки торцов пружин), осуществляется с помощью светового барьера 7. Поддержание санитарно-гигиенических условий труда, а также заданных технологических условий для функционирования технологического процесса в производственных помещениях обеспечивает принудительная вентиляция 8. Обеспечение процесса обработки торцов пружины, включающее в себя управление вышеперечисленными компонентами по заданному алгоритму в соответствии с технологическими параметрами и его безопасной работой, является основной функцией системы управления 9 РТК.

Технология обработки торца пружины состоит из нескольких этапов: в зоне загрузки—выгрузки пружина устанавливается в зажимное устройство, ориентируется с помощью механического упора и

после этого фиксируется. На следующем этапе осуществляется ее перемещение в зону резки с использованием поворотного стола. Далее следует процесс измерения торца пружины с помощью лазерного измерительного датчика, и затем осуществляется процесс подрезки торца пружины режущим инструментом. Перемещение измерительного и режущего инструментов по заранее запрограммированной траектории движения выполняет робот. Завершающей операцией является перемещение пружины из зоны резки в зону погрузки—разгрузки, где и выгружается обработанная пружина и загружается необработанная. В дальнейшем цикл повторяется.

В работе [4] приведен анализ дефектов обработки торцов пружин, присущих вышеописанной технологии, и разработаны методы по их устранению.

В ходе эксплуатации РТК выявлены следующие недостатки в его работе за период более двух лет.

- Перемещение пружины в зону обработки осуществляется с помощью поворотного устройства. Необходимым требованием работы оборудования плазменной резки является обеспечение надежного электрического контакта (отрицательной полярности) на обрабатываемой детали, но так как поворот стола выполняется в одном направлении, для передачи электрического тока к пружине требуется использовать электрический подвижной контакт. В процессе работы происходит его механический и "электрический" износ, повышается переходное сопротивление, уменьшается ток через него (который является одним из основных параметров процесса плазменной резки), что в конечном итоге приводит к ухудшению качества реза. Практика эксплуатации РТК показала периодичность замены данного узла (один раз в месяц), что дополнительно приводит к простоям оборудования на период ремонта и увеличению материальных затрат на запасные части.
- Режущий инструмент оборудования плазменной резки — резак — в своем составе имеет быстро изнашивающиеся детали, а именно катод и сопло рабочего газа, срок замены которых регламентирован в работе [5]. Замена катода должна проводиться через 500 циклов резки, а замена сопла — в зависимости от времени реза при заданной толщине обрабатываемой детали и на текущий момент времени осуществляется по визуальному контролю качества реза. Это приводит к снижению качества обработки торцов пружин по причине несвоевременной замены данных деталей. Требования, предъявляемые к оборудованию, используемому в производстве пружин, в соответствии с политикой внедрения автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП) на современном предприятии:
- наличие аппаратно-программного обеспечения системы управления РТК для интеграции в существующую сеть к АСУТП. Это дает такие преимущества, как возможность удаленного мониторинга оборудования в режиме реального времени,

загрузки из базы данных и сохранения в ней технологических параметров, а также оперативного учета изготовленной продукции, и другие функциональные возможности;

- в состав системы управления должен входить сканер штрих-кода для идентификации оператора, работающего на данном рабочем месте, и для идентификации технологической карты партии, в соответствии с которой передаются технологические параметры из базы данных (БД) АСУТП в систему управления РТК;
- реализация управления РТК (в том числе для ввода-вывода технологических параметров) с помощью человеко-машинного интерфейса, позволяющего обмен информационными сообщениями на русском языке. Это обеспечивает дружественную работу системы "человек—машина", мониторинг текущего процесса работы и состояния компонентов РТК в режиме реального времени.

На основании вышеизложенного сформулированы следующие функциональные требования к системе управления РТК:

- ввести в технологию обработки торца пружины процесс измерения на основании технических характеристик обрабатываемого изделия [4];
- обеспечить расчет точек траектории перемещения измерительного и режущего инструментов;
- разработать алгоритм управления процессом обработки торца пружины в режиме реального времени;
- исключить подвижный электрический контакт;
- обеспечить автоматический учет времени работы быстроизнашивающихся деталей режущего инструмента с оповещением оператора о своевременной его замене;
- расширить функциональные возможности системы управления в соответствии с новыми требованиями, предъявляемыми оборудованием, используемому в производстве пружин на предприятии.

Для решения поставленных задач предложено следующее решение: измерение геометрических параметров пружины проводить бесконтактным лазерным измерителем, установленным на последнем

звене робота, с помощью которого осуществлять его перемещение в процессе измерения. На основе математических моделей, приведенных в работе [4], разработать алгоритмы для расчета точек, образующих траекторию перемещения лазерного измерителя и резака, и управления процессом плазменной резки в режиме реального времени. Провести замену электрического подвижного контакта на гибкий кабель, при этом обеспечив возвратно-вращательное движение поворотного стола. Разработать математическую модель и, на ее основе, алгоритм учета времени работы быстроизнашивающихся деталей режущего инструмента с оповещением оператора о своевременной его замене. Расширить функциональные возможности системы управления за счет подбора современного оборудования, имеющего в своем составе аппаратно-программную возможность реализации новых алгоритмов, необходимых для работы РТК, а также обеспечивающего подключение СУ к АСУТП предприятия.

Поскольку основное назначение контроллера робота — это управление его движением, то логично для него оставить только эту функцию, а для управления оборудованием, входящим в состав РТК, использовать промышленный программируемый логический контроллер (ПЛК). К примеру, в работе [6] предложено аналогичное решение — для процесса измерения использовать компьютер, а для управления перемещением измерительного датчика применять робот. В другом примере [7] используется ПЛК для управления несколькими роботами. И в том и в другом случае на контроллер робота возложена его основная функция — управление его движением.

Условия работы РТК предъявляют серьезные требования к электронному оборудованию для промышленного применения. Продукция компании *Omron* применяется в системах управления технологическим оборудованием на предприятии по производству пружин. За последние три года не отмечено ни одного случая выхода из строя компонентов, произведенных данной компанией, что является одним из критериев выбора. К примеру, ПЛК серии *CJ1M* с помощью дополнительных модулей позволяет реализовать практически любое функциональное устройство (дискретные входы/выходы, АЦП, ЦАП, канал обмена данными и др.).

Для реализации нового технологического процесса обработки пружин, решения поставленных задач и модернизации РТК разработана функциональная схема системы управления, представленная на рис. 3.

В качестве центрального процессора выбран контроллер *CJ1M-CPU13*, для разработки программного обеспечения которого используется программный продукт *CX-Programmer*, соответствующий Международному стандарту МЭК 6-1131/3 [8], а именно поддерживающий язык LD для управления

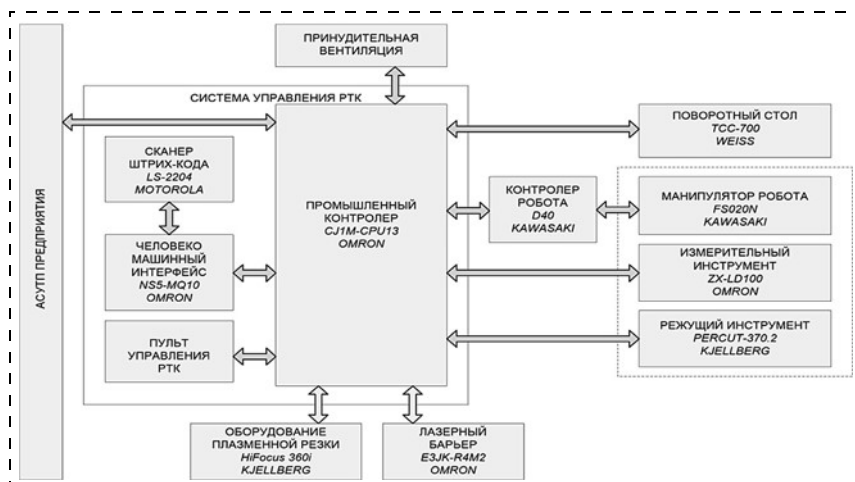


Рис. 3. Функциональная схема системы управления робототехнического комплекса

дискретными сигналами и язык ST для реализации математического обеспечения. Человеко-машинный интерфейс реализован на панели оператора NS5-MQ10, которая обеспечивает обмен информационными сообщениями на русском языке.

Модули входов-выходов обеспечивают обмен дискретными сигналами (управление и контроль состояний) между ПЛК и компонентами РТК. Данные, полученные в процессе измерения, преобразуются в цифровой код для обработки в ПЛК с помощью модуля аналого-цифрового преобразования. Модуль цифроаналогового преобразования обеспечивает задание тока реза для оборудования плазменной резки. Передача данных (рассчитанных координат точек траекторий измерения и обработки) из ПЛК в контроллер робота осуществляется с помощью модуля последовательного интерфейса на физическом уровне по RS485, по протоколу Modbus RTU. Сканер штрих-кода, подключенный к системе управления, необходим для идентификации оператора и карты партии обрабатываемых деталей на данной технологической операции.

Заключение

В результате проведенного исследования выявлены недостатки в работе РТК и разработаны методы по их устранению. Для повышения качества обрабатываемых деталей и производительности РТК разработан новый технологический процесс обработки торцов пружины. Разработана новая функциональная схема системы управления, удовлетворяющая требованиям к управлению РТК. Разработана и изготовлена действующая система управления РТК.

Решены следующие задачи: автоматический расчет точек траектории движения измерительного и режущего инструментов, исключен подвижной электрический контакт, обеспечен учет времени работы быстроизнашивающихся деталей режущего инструмента и оповещение о своевременной их замене, проведено подключение системы управления РТК к АСУТП предприятия в соответствии с заданными требованиями. Проведена промышленная апробация РТК. На заключительном этапе предполагается разработать и провести апробацию алгоритмов измерения торца пружины и управления процесса плазменной резки в режиме реального времени.

Список литературы

1. Вагонмаш, вальцовка прутка. URL: <http://vagonmash.eu/en/press-center/news/40-december-2012>. (дата обращения: 04.05.2014).
2. Изготовление пружин. URL: <http://prughina.msk.ru/izgotovlenie-pruzhin/>. (дата обращения: 04.05.2014).
3. Платов С. А., Турыгин Ю. В. Исследование и повышение эффективности РТК подрезки торцов пружин // Молодые ученые — ускорению научно-технического прогресса в XXI веке: сб. тр. Всероссийской научн.-техн. конф. Ижевск, 2013. 1415 с.
4. Платов С. А., Турыгин Ю. В. Обработка торцов пружин вагонных тележек методом плазменной резки // Интеллектуальные системы в производстве. Ижевск: Изд-во ИжГТУ. 2013. № 2. С. 96—100.
5. Short Instruction Manual // Kjellberg Finsterwalde Plasma und Maschinen GmbH. Kjellberg. 2010. 210 p.
6. Zeng L., Peter R., Kym M., Andrew H. Control of Industrial Robots for Meat Processing Applications // Food Science Australia, CSIRO. URL: <http://www.araa.asn.au/acra/acra2003/papers/12.pdf>. (дата обращения: 11.03.2014).
7. Luiz Affonso. Programmable Logic Controller, 2010. 178 p.
8. Зюбин В. Е. Программирование ПЛК: языки МЭК 61131-3 и возможные альтернативы // Промышленные АСУ и контроллеры. 2005. № 11. С. 31—35.

Ju. V. Turygin, Professor, turygin@istu.ru, S. A. Platov, Postgraduate student, serge.platov@gmail.com, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Hot Spring End Winding Process Research Based on the Robotics Plasma Cutting Method

The article concentrates on the research of the hot coiled spring processing by means of plasma cutting. It covers the alternative solutions of the processing methods as well as the plasma cutting technology. Robotic system (Robotics) is represented as the basis for the technology solution in order to carry out the spring end grinding process by means of plasma cutting. The analysis of its operation activity for a period of two years resulted in the development of the methods to rectify the deficiencies found in the course of the robotics system lifetime. Spring end grinding process defects have been detected. It was developed the list of engineering solutions for the purpose of elimination of the defects. On the basis of the developed methods and engineering solutions along with the newly specified criteria for Robotic system control it was determined a list of operating system (OS) requirements. It was developed a new functional chart and control algorithms for Robotics OS. It has been developed and carried out the industrial practical testing of the new Operating System.

Keywords: robotic systems, industrial robot, control system, industrial controller, plasma cutting, springs

References

1. Vagonmash, val'tsovka prutka. URL: <http://vagonmash.eu/en/press-center/news/40-december-2012>. (date of access 04.05.2014).
2. Izgotovlenie pruzhin. URL: <http://prughina.msk.ru/izgotovlenie-pruzhin/>. (date of access: 04.05.2014).
3. Platov S. A., Turygin Yu. V. Issledovanie i povyshenie effektivnosti RTK подрезки торцов пружин. *Molodye uchenye — uskoreniyu nauchno-tekhnicheskogo progressa v XXI veke: sb. tr. Vserossiyskoy nauchn.-tekhn. konf.* Izhevsk, 2013. 1415 p.
4. Platov S. A., Turygin Yu. V. Obrabotka tortsov pruzhin vagonnykh telezhok metodom plazmennoy rezki. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. Izhevsk: Izd-vo IzhGTU. 2013. N. 2. P. 96—100.

5. Short Instruction Manual. *Kjellberg Finsterwalde Plasma und Maschinen GmbH*. Kjellberg. 2010. 210 p.
6. Zeng L., Peter R., Kym M., Andrew H. Control of Industrial Robots for Meat Processing Applications. *Food Science Australia, CSIRO*. URL: <http://www.araa.asn.au/acra/acra2003/papers/12.pdf>. (data accept: 11.03.2014).
7. Luiz Affonso. Programmable Logic Controller, 2010. 178 p.
8. Zyubin V. E. Programmirovaniye PLK: yazyki MEK 61131-3 i vozmozhnye al'ternativy. *Promyshlennyye ASU i kontroliery*. 2005. N. 11. P. 31—35.