

Результаты модернизации и дальнейшие исследования

В результате модернизации удалось увеличить производительность станка до 50 изделий в минуту, соответствующих требуемым показателям качества тиснения. Производительность увеличена за счет реализации нового оптимального алгоритма управления сервоприводами и электроавтоматикой станка в соответствии с циклограммой (рис. 3). Максимальная производительность станка (с ухудшением качества продукции) составила 100 крышек в минуту. При такой производительности существенное влияние на готовый продукт оказывает: качество мандрелей, зацепление мандрели и привода ее вращения, динамика системы накопления фольги и т. д.

Дальнейшими исследованиями модернизированной системы многодвигательных электроприводов станка будут анализ возможности повышения производительности до 80...100 изделий в минуту при сохранении требуемого качества тиснения, что соот-

ветствует производительности аналогичных современных станков, имеющихся на рынке. Для этого будет построена имитационная компьютерная модель механизма горячего тиснения с учетом имеющихся в нем упругостей и зазоров, на которой будут выявлены причины, вызывающие ухудшение качества тиснения фольгой, и исследованы способы их устранения. Такой подход позволит минимизировать время простоя станка и оптимизировать проведение опытов с уже модернизированным оборудованием.

Список литературы

1. *Зимин Е.Н.* Автоматическое управление электроприводами. - 1979, 320 с.
2. *Трофимов О.В., Ефимычев Ю.И., Ефимычев А.Ю., Шипилов А.Г.* Модернизация предприятий промышленности: концепция, стратегии и механизм реализации // Креативная экономика. 2011. № 11.
3. *Jaster M.* 12 Current Trends in Motion Control // Power Transmission Engineering. March. 2018. www.powertransmission.com

*Подзорв Никита Николаевич – главный специалист по приводной технике ООО «КоСПА»,
Бычков Михаил Григорьевич – д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ».
Контактный телефон (915) 170-30-34.*

РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ КОНЦЕВЫХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ БАЛЛИСТИЧНЫХ РАКЕТНЫХ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ (БРТТ)

**О.Г. Тюрин (ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова), А.Е. Голубев (АО «НИИПМ»),
О.А. Корнелюк, Д.Ю. Незнахин (Фирма «Пластик Энтерпрайз»)**

Описана модернизация технологического процесса изготовления изделий из БРТТ путем внедрения современных робототехнических комплексов на всех производственных фазах концевых операций, что позволяет объединить отдельные операции в поточно-механизированную линию, вывести персонал из опасных зон, повысить качество изделий, увеличить производительность.

Ключевые слова: робототехнический комплекс, механическая обработка, контроль геометрических размеров, бронирование.

Ракетные заряды из БРТТ получают методом проходного прессования с последующим доведением до заданной формы механической обработкой и бронированием. Многообразие форм зарядов вызывает необходимость проведения разнообразных операций от простой торцовки на необходимую длину до получения изделий сложных форм с различными конусами, выточками, уступами и т. д. [1, 2]. Процесс механической обработки также осложняется особенностями высокоэнергетических материалов, в первую очередь высокой пожароопасностью данной операции, требующей специальных мер защиты.

Сотрудниками фирмы «Пластик Энтерпрайз» совместно с АО «Научно-исследовательский институт полимерных материалов» выполнена работа по модернизации технологического процесса изготовления изделий из БРТТ путем внедрения современных робототехнических комплексов на всех производственных фазах концевых операций, что позволяет объединить отдельные операции в поточно-механи-

зированную линию, вывести персонал из опасных зон, повысить качество изделий, увеличить производительность. Модернизированное производство включает взаимосвязанный набор отдельных комплексов: механической обработки, контроля геометрических размеров, лакирования, бронирования изделий, вклеивания втулок.

Робототехнический комплекс механической обработки изделий из БРТТ

Ракетные заряды из БРТТ имеют сложную форму, поэтому после проходного прессования проводится специальная механическая обработка заготовок для придания им необходимой конфигурации и размеров. Структурная схема комплекса механической обработки приведена на рис. 1.

Робототехнический комплекс включает два токарных станка с ЧПУ, робот-манипулятор, шлюзовые транспортные системы для загрузки и выгрузки обрабатываемых изделий, систему сбора и удаления

стружки, систему автоматического управления комплексом.

Для механической обработки поступающих заготовок используются два станка модели 200 НТ на базе ЧПУ Fanuc серии 0i, модифицированные для работы с высокоэнергетическими материалами:

- все электрические компоненты станков имеют степень защиты оболочки не менее IP65 по ГОСТ 14254-2015, обусловленную нахождением станков в пожароопасной зоне П-Па (согласно ПУЭ), а также наличием быстродействующей автоматической системы пожаротушения;
- в связи с применением в качестве СОЖ водопроводной воды, часть внешних элементов выполнена из нержавеющей стали;
- отсутствует кабинетная защита станков;
- для вывода обслуживающего персонала из опасной зоны станки оборудованы дополнительным пультом управления, вынесенным в помещение оператора.

Изделия, обрабатываемые на станках, имеют сравнительно низкую температуру воспламенения и высокую чувствительность к тепловым импульсам. Это накладывает жесткие требования по величине температуры в зоне резания. Низкая теплопроводность и высокая теплоемкость изделия приводят к тому, что тепло, возникающее при резании, концентрируется главным образом на стружке в месте ее контакта с передней поверхностью резца. Само же изделие практически не нагревается, то есть наибольшую опасность представляет стружка. Поэтому операция механической обработки проводится с охлаждением зоны резания путем полива водой и удалением стружки вакуумной системой стружкоотделения.

В рамках создания комплекса механической обработки была разработана и изготовлена специальная оснастка станков, позволяющая подавать воду непосредственно в точку контакта обрабатываемого изделия с режущей кромкой, в том числе и при обработке канала.

Образующаяся в результате резания и полива водостружечная смесь за счет разряжения, создаваемого вакуумной системой, подается в стружкоотделитель, отделяется от транспортирующего воздуха, который выбрасывается в атмосферу после очистки антистатическим фильтром. С заданной периодичностью водостружечная смесь выгружается из стружкоотделителя в специальный контейнер, где при помощи системы фильтров происходит отделение воды.

Режимы резания (скорость, подача, глубина), определяющие степень механического воздействия на обрабатываемый материал, выбираются исходя из обеспечения безопасного выполнения операции и исключения возможного загорания.

Передача заготовок между станками и транспортными системами осуществляется роботом манипулятором Fanuc M-710iC. На захвате робота установлен датчик положения, позволяющий определять нахождения заготовки в текущей ячейке транспортной системы.

Подача заготовок в кабину механической обработки и контроля геометрических размеров осуществляется транспортной системой загрузки (ТС № 1), их выгрузка — ТС № 2, а передача изделий из токарных станков к системе замера геометрических размеров — с помощью специального транспортера (рис. 1).

Транспортные системы представляют собой спаренные перемещающиеся столы, на которых расположены ложементы для установки шести изделий. Каждый стол располагается в шлюзовой камере, отделенной шиберами от помещений загрузки/выгрузки заготовок и помещения комплекса механической обработки. В целях безопасности в процессе работы два шибера одновременно не открываются, тем самым исключая передачу пламени между соседними помещениями в случае пожара.

Синхронизацию работы оборудования обеспечивает программно-технический комплекс (ПТК) выполнен-

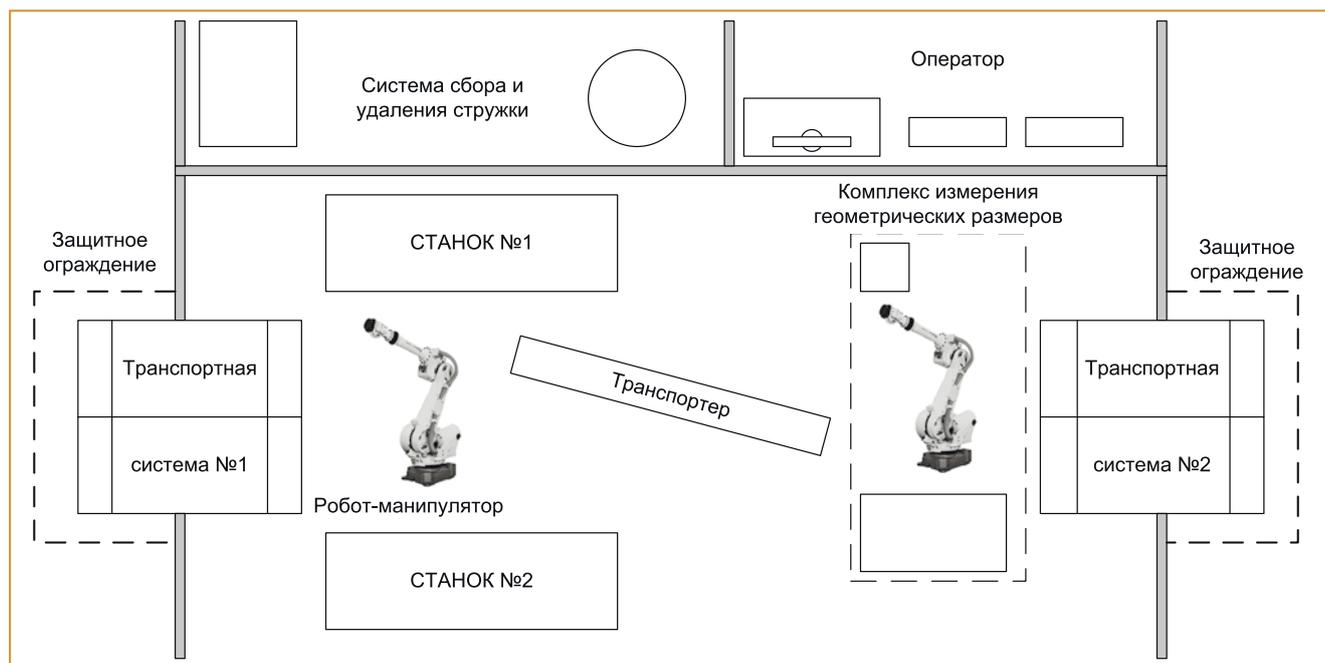


Рис. 1. Структурная схема комплекса механической обработки

ный на базе контроллера Siemens S7-1200 и SCADA системы WinCC. ПТК объединяет работу станков, роботов, транспортных систем, системы сбора и удаления стружки, а также позволяет производить обработку изделий в автоматическом режиме, тем самым обеспечивая безопасность персонала. В зоне возможного нахождения человека (загрузка заготовок и выгрузка готовых изделий) транспортные системы оборудованы защитными ограждениями, калитки которых снабжены электронными замками и датчиками положения. Каждая входная дверь в зону работы комплекса механической обработки также снабжена датчиками положения, при этом в целях безопасности ПТК блокирует работу комплекса при незакрытых дверях.

Механическая обработка изделий производится в следующем порядке:

- оператор производит загрузку изделий в транспортную систему, закрывает защитную калитку и нажимает кнопку подтверждения окончания загрузки;
- оператор выбирает номер программы для комплекса (соответствует определенному изделию) на пульте управления робототехнического комплекса, затем запускает комплекс в работу;
- робот берет заготовку с соответствующего ложе-мента ТС № 1 и устанавливает ее в станок № 1;
- станок выполняет программу по обработке торца заготовки и внутреннего канала;
- робот забирает обработанное изделие и переставляет его на станок № 2;
- станок № 2 выполняет программу по обработке боковой поверхности заготовки и второго торца;
- робот забирает обработанное изделие и переставляет его транспортную систему передачи изделия на комплекс измерения геометрии;

Далее цикл повторяется для всех изделий, загруженных оператором в транспортную систему.

При обработке изделий из первой камеры ТС №1 оператор производит загрузку заготовок во вторую независимую камеру транспортной системы, что позволяет не останавливать комплекс механической обработки для загрузки новой партии.

Оператор наблюдает за технологическим процессом с помощью системы теленаблюдения и отображаемых ПТК параметров работы комплекса.

Комплекс контроля геометрических размеров

Точность механической обработки изделий на токарных станках контролируется автоматически с помощью робототехнического комплекса контроля геометрических размеров. Его основу составляет промышленный робот Fanuc M-20iA, оборудованный пневматическим захватным устройством для удержания изделий, и лазерный 2D сканер Riftek РФ625.

В основу работы сканера положен принцип оптической триангуляции¹. Излучение полупроводникового лазера формируется в виде линии и проецируется на объект.

Рассеянное на объекте излучение объективом собирается на двумерной CMOS-матрице². Полученное изображение контура объекта анализируется сигнальным процессором, который рассчитывает расстояние до объекта для каждой из множества точек вдоль лазерной линии на объекте.

Передача изделий из механической обработки на контроль геометрических размеров осуществляется с помощью передвижной платформы с установленными ложе-ментами. Робот берет деталь с платформы и устанавливает ее на специальный измерительный стол. Для исключения влияния на результаты измерения остатков стружки и влаги производится продувка изделия сжатым воздухом. После чего с помощью 2D сканера, установленного на захвате робота, производится измерение заданных размеров изделия. Полученное изображение сравнивается с имеющимся в памяти компьютера базовым изображением и принимается решение о годности детали. Если отклонения всех размеров не превышают допустимые значения, то робот устанавливает изделие на ТС № 2, которая перемещает его за пределы камеры, а в случае превышения — на отдельный стол.

Комплекс лакирования изделий до бронирования

Вкладные заряды БРТТ, не скрепляемые с корпусом двигателя, покрываются инертным бронирующим составом. Бронирование имеет цель обеспечить заданную закономерность газообразования при горении заряда. После механической обработки на поверхность изделия перед бронированием наносится тонкий слой специального состава (лака) для увеличения адгезии бронепокр-тия. Данная операция получила название лакирования изделий до бронирования и для ее выполнения используется робототехнический комплекс, основу которого составляет окрасочный робот Fanuc P-50iB/10L. Возможность работы данного робота во взрывоопасной среде окрасочной камеры обеспечивается заполнением его защитной оболочки воздухом под избыточным давлением (защита оборудования типа «р»).

В окрасочной камере размещены робот, транспор-тер, предназначенный для крепления и вращения изделий в момент нанесения лака, система вытяжной венти-ляции. Подготовку компонентов лака осуществляют с помощью окрасочного оборудования фирмы GRACO, расположенного за пределами окрасочной камеры. На-несение лака выполняется двумя распылителями (один распылитель для нанесения на наружную поверхность, второй — для лакирования канала).

Установив изделия на транспортер, оператор поме-щает его в окрасочную камеру, фиксирует и покидает кабину. С пульта управления выбирает соответствующую программу и запускает комплекс. В соответствии с про-граммой робот наносит лаковое покрытие на наружную поверхность и поверхность канала. Завершив лакирова-ние всех изделий, робот дает сигнал оператору, который извлекает транспортер из окрасочной камеры и отпра-вляет его в помещение сушики.

¹ Триангуляция — метод для измерения расстояний, часто с использованием лазера. Он использует способность лазерного луча распространяться в хорошо коллимированной форме (т.е. с малой расходимостью) на большие расстояния.

² Матрица CMOS — микросхема, созданная на основе полевых транзисторов с изолированным затвором с каналами разной проводимости.

Комплекс бронирования изделий

На лакированные после механической обработки изделия наносится термостойкое бронепокрытие методом литья под давлением на термопластавтоматах (ТПА).

В связи с потенциальной опасностью операции бронирования к термопластавтомату предъявляются дополнительные требования.

1. Наличие дублирующего пульта управления ТПА, вынесенного в отдельное помещение, удаленное на расстояние 3...5 м от месторасположения ТПА.

2. Автоматическое открывание прессформ путем разведения плит при повышении установленного давления и разведение плит и остановка ТПА с дублирующего пульта управления.

3. Все электрические компоненты должны иметь степень защиты оболочки не менее IP65, обусловленную нахождением ТПА в пожароопасной зоне П-Па (согласно ПУЭ), а также нахождением в зоне действия быстродействующей пожаротушащей системы (БАПС).

Для бронирования изделие помещают в специальную разъемную форму, центруют и в зазор между зарядом и формой впрыскивают бронесостав, нагретый до текучего состояния. Толщина бронепокрытия определяется величиной зазора. При бронировании канала заряда в него вставляется специальный стержень и бронемасса заливается между стержнем и поверхностью канала. Данный способ позволяет бронировать изделия по торцевой, боковой и по поверхности канала за один технологический цикл. Управление машиной осуществляется интуитивно в понятной графически визуализированной системе пульта управления. Последовательность процесса литья под давлением разделена на отдельные циклы: закрытие, впрыск и открытие, которые отображаются на диаграмме. Для изменения параметров оператор выбирает соответствующее диалоговое окно на экране и изменяет установки (усилие смыкание плит, скорости открытия или закрытия и т. д.).

По окончании отверждения и охлаждения заряд извлекается из формы, контролируется качество бронепокрытия, проводится необходимая механическая доработка и повторно наносится лаковое покрытие.

Комплекс вклеивания втулок

Параллельно механической обработке изделий осуществляется процесс изготовления стартовых зарядов «щеточного» типа. Для изготовления данного изделия в канал каждого элемента необходимо вклеить металлическую втулку. Эту операцию выполняют в автоматическом режиме с применением промышленного робота-манипулятора Fanuc LR Mate 200iD. Специализированный робот шарнирного типа установлен в кабине на металли-

ческой конструкции. На столе в рабочей зоне предусмотрено размещение двух паллет с втулками и трубчатыми элементами, а между ними — емкость для клея. Оператор устанавливает паллеты, наполняет емкость клеем, выходит из кабины и с пульта управления запускает соответствующую программу. Робот берет первую втулку с паллеты, опускает в емкость с клеем и вставляет в канал первого элемента второй паллеты, затем аналогичным образом вклеивается вторая, третья втулка и т. д. После окончания вклейки робот останавливается, передавая на экран пульта сообщение. Оператор выключает робот, заходит в кабину, меняет паллеты и процесс продолжается. В случае попытки проникновения в кабину во время работы срабатывает защита, и комплекс останавливается.

Заключение

Проведенная модернизация технологического процесса конечных операций при изготовлении изделий из БРТТ позволила сократить затраты на их производство, организовать безопасные условия труда, повысить информативность.

Полученный производственный комплекс имеет возможность перенастройки для постановки на производство других изделий. Для смены обрабатываемой детали необходима смена оснастки станков, роботов и транспортных систем, а также корректировка программного обеспечения. Замена дорогостоящего оборудования при этом не требуется.

В настоящее время проведена модернизация на отдельных технологических операциях, однако примененные технические решения позволяют в будущем строить непрерывную поточно-механизированную линию изготовления изделий внедрением новых транспортных систем между различными операциями и установкой робототехнических комплексов загрузки/выгрузки изделий, а также комплексов контроля размеров и качества изготовления. Данный подход позволяет построить технологический процесс, полностью исключающий присутствие человека при выполнении опасных и особо опасных операций. Для реализации данного подхода уже сейчас разработан программно-технический комплекс, объединяющий все технологические операции. ПТК позволяет в автоматическом режиме отслеживать параметры, влияющие на качество изготовления изделий и безопасность технологического процесса.

Список литературы

1. Жегров Е. Ф., Милехин Ю. М., Берковская Е. В. Химия и технология баллистических порохов, твердых ракетных и специальных топлив. Т. 2. Технология: Монография. М.: РИЦ МГУП им. И. Федорова. 2011. 551 с.
2. Тюрин О. Г., Кальницкий В. С., Жегров Е. Ф. Управление потенциально опасными технологиями. М.: Инфра-Инженерия, 2011. 288 с.

Тюрин Олег Георгиевич — д-р техн. наук, проф. кафедры МиГПА ЮРГПУ (НПИ) им. М. И. Платова,

Голубев Андрей Евгеньевич — д-р техн. наук, член-корр. РАЕН, советник РАРАН, исполнительный директор АО «НИИПМ»,

Корнелюк Олег Александрович — главный инженер,

фирмы «Пластик Энтерпрайз».

E-mail: koa@plasticenterprise.ru