Конкурсная работа

Авторы: Кожина Т.Д. (РГАТУ имени П.А. Соловьева), Соколов Н.Н. (ПАО «ОДК-Сатурн»), Курочкин А.В. (РГАТУ имени П.А. Соловьева), Рассудов Н.В. (ПАО «ОДК-Сатурн»)

Название работы: Роботизированный комплекс автоматизированной штамповки лопаток компрессоров ГТД.

Цель: Разработка роботизированного технологического комплекса штамповки лопаток компрессоров ГТД (РТК), представляющего собой технологическую ячейку, состоящую из технологического оборудования, осуществляющего полный цикл штамповки; средств автоматизации, объединяющих системы загрузки, выгрузки деталей с рабочих позиций и их транспортировку между рабочими местами.

Описание работы: В результате выполнения проекта создается роботизированный комплекс автоматизированной штамповки лопаток компрессора ГТД.

РТК обеспечивает постоянство циклов нагрева заготовки перед деформированием материала; минимально возможное время переноса заготовки из зоны нагрева под пресс; выполнение многопереходной штамповки, сопровождаемой автоматическим нанесением смазки на штамп; выгрузку готовых полуфабрикатов.

В рамках проекта реализован цикл изготовления заготовок лопаток ГТД за счет совершенствования технологии изотермической штамповки. Выполнены исследования по использованию нового технологического процесса на титановых сплавах, коррозионностойких сталях и жаропрочных сплавах. Для реализации данного технологического процесса выполнены следующие работы: уменьшено количество предварительных переходов за счет использования выдавливания вместо высадки; разработана технология выдавливания, обеспечивающую требуемую структуру; спроектирован и изготовлен блок для выдавливания; изготовлены штамповые вставки из новых материалов для изотермической штамповки.

В целом проект направлен на создание роботизированного высокотехнологичного производства заготовок лопаток компрессора ГТД со сниженным припуском на последующую обработку. Ожидаемые результаты: снижение трудоемкости и себестоимости при стабилизации качества изготовления; повышение качества подготовки специалистов в области технологий обработки пластическим деформированием деталей ГТД; повышение уровня научных исследований процессов точной штамповки и разработки технологий обработки давлением в РГАТУ имени П.А. Соловьева.

Разрабатываемый РТК предназначен для штамповки:

- заготовок лопаток, используемых в компрессорах низкого давления SaM146 для гражданского самолета Сухой-Суперджет SSJ-100.

- заготовок лопаток, используемых в ГТД АЛ55 для учебно-тренировочного самолета.
- заготовок лопаток, используемых в ГТД 4РМ, 6.3РМ, 10РМ для агрегатов по перекачке газа.
- заготовок лопаток, используемых в ГТД М70ФРУ, М75ФРУ, М90ФР для силовых установок кораблей ВМФ.

Рынок

Реализуемый проект направлен на совершенствование производства наиболее массовых деталей газовых турбин, а именно: лопаток ротора и статора компрессоров низкого и высокого давления ГТД. Выпускаемой продукцией создаваемого инновационного штамповочного производства является лопатка компрессора.

Создаваемые в ходе проекта технологии автоматизированной штамповки лопаток и продукция – заготовки штамповки лопаток компрессора используются ПАО «ОДК-Сатурн» и предприятиями ОДК для разработки и производства ГТД нового поколения для авиационной техники и морских судов. Внедрение результатов проекта на практике, в том числе внедрение технологий автоматизированной штамповки лопаток в ближайшей перспективе позволит обеспечить лопатками компрессора низкого давления предприятия входящие в ОДК: ПАО «ОДК-Сатурн» (г. Рыбинск), ПАО «ОДК-УМПО» (г. Уфа,) АО «ОДК-Пермские моторы» (г. Пермь).

Полученные результаты

Анализ отечественных и зарубежных работ по автоматизации штамповки лопаток компрессоров во многих случаях выявил несовершенство методологии самого проектирования, таким образом, в работе решаются и задачи по совершенствованию процессов проектирования, в основе которых лежит системный подход.

Комплекс технических средств автоматизации разрабатываемого РТК, включает в себя следующие компоненты, максимальная эффективность которых достигается только в совокупности: система контурного управления; сенсорные системы для адаптации робота; навесное периферийное и технологическое оборудование; система калибровки манипулятора; системы технологической подготовки производства, проектирования приспособлений и автономного программирования робота.

Общая структурная схема РТК (рис.1) была разработана на основе результатов факторного анализа требований к процессу автоматизированной штамповки заготовок лопаток компрессоров ГТД.

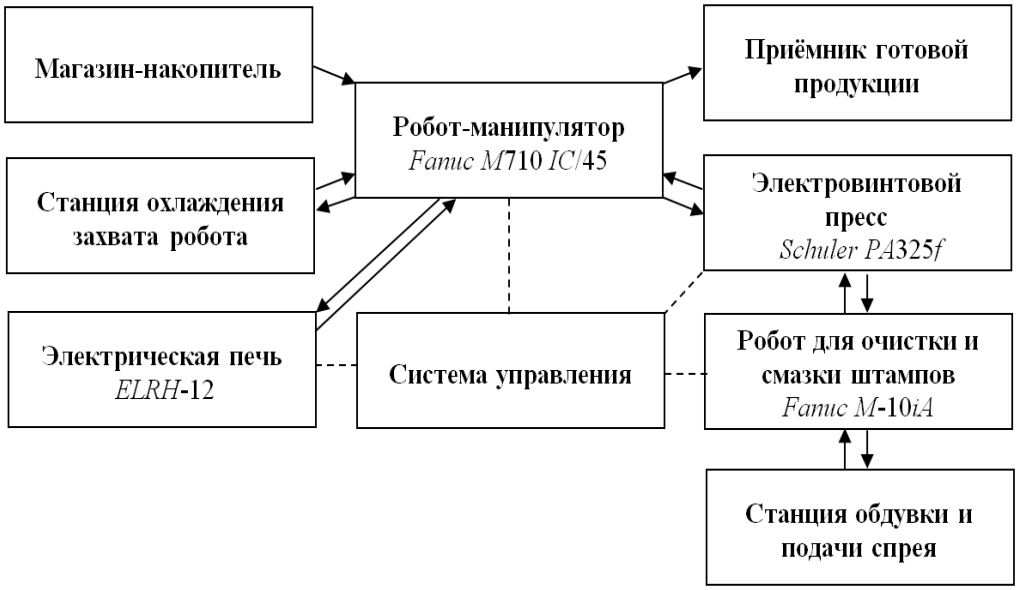

Рисунок 1 – Структура РТК

В процессе выполнения работ спроектирована и изготовлена опытная электрическая печь для нагрева заготовок до температуры пластической деформации (Рисунок 2) – печь карусельного типа, предназначена для непрерывного предварительного нагрева заготовок, при выполнении операций горячей штамповки. Она применяется для заготовок из титановых, никелевых и других жаропрочных сплавов в основном в авиационной промышленности при производстве лопаток авиадвигателей.

Рисунок 2. Опытная электрическая печь для нагрева заготовок до температуры пластической деформации

Печь является производительной за счёт применения поворотного стола, который позволяет осуществлять нагрев индивидуально каждую заготовку, тем самым достигается её стабильный равномерный нагрев. При вращательном движении поворотного стола загрузка заготовок осуществляется поштучно на высвобожденное место стола печи после взятия нагретой до ковочной температуры заготовки. При этом подача заготовок может осуществляться в автоматическом режиме.

Печь отличается точностью, надёжностью, высокими эксплуатационными характеристиками (которые сохраняются в течение длительного времени), а также быстрым и простым техническим обслуживанием. Печь может быть интегрирована в структуру робототехнологического комплекса, предназначенного для реализации технологических процессов горячего пластического деформирования заготовок лопаток компрессора.

При этом сопутствующие производственные трудности сводятся к минимуму, что позволяет добиться максимальной эффективности в работе комплекса в рамках одного непрерывного потока производства.

В роботизированном комплексе (Рисунок 3) работа печи синхронизирована с работой промышленного робота, осуществляющего загрузку заготовок и их выгрузку после нагрева до температуры ковки.

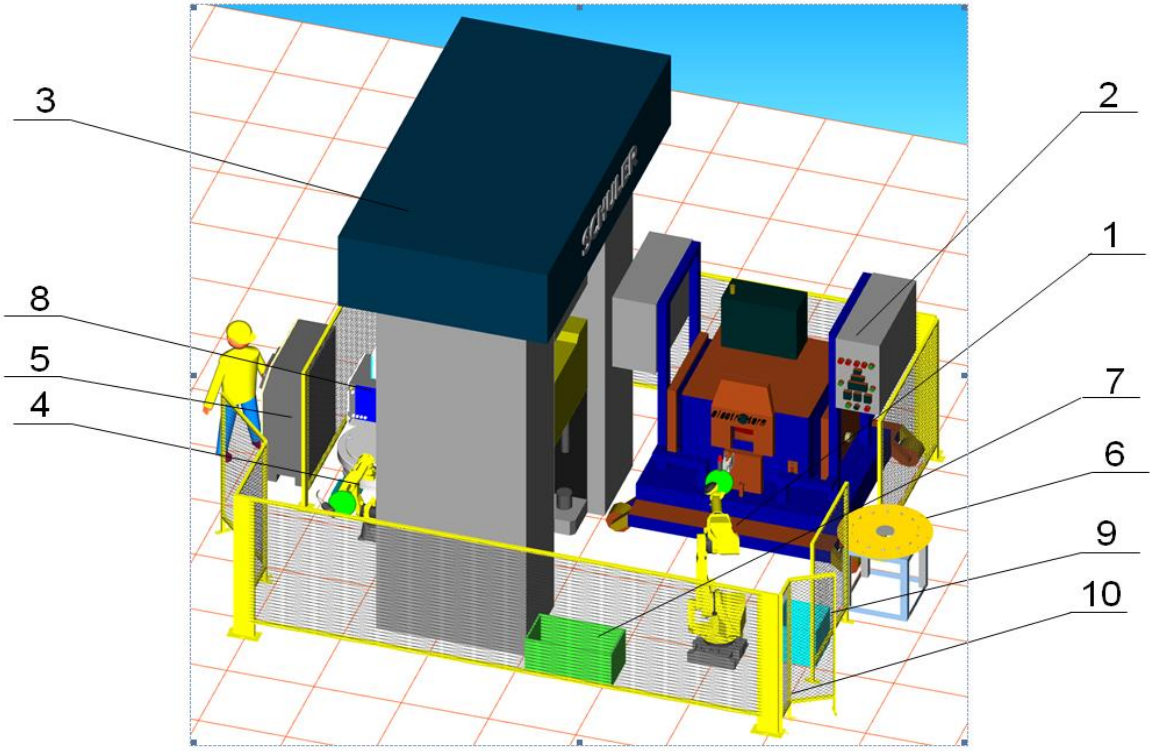

Рисунок 3 – Опытная компоновка РТК

1 – робот-манипулятор; 2 – электрическая печь; 3 – электровинтовой пресс; 4 – робот для сушки и смазки штампов; 5 – система управления; 6 – магазин-накопитель; 7 – приёмник готовой продукции; 8 – станция обдувки и подачи спрея; 9 – станция охлаждения захвата робота; 10 – ограждение РТК

Робот укладывает заготовку на свободную позицию вращающегося пода в момент его кратковременной остановки. Затем происходит поворот пода в следующую позицию с нагретой заготовкой, которую робот извлекает из печи и переносит в штамповочный пресс. Нагрев заготовки до температуры ковки осуществляется за один полный оборот пода печи. Угол поворота пода, моменты его остановки и начала вращения, а также открытия и закрытия рабочей двери печи задаются программой и синхронизируются с действиями загрузочного робота.

Поскольку в процессе штамповки форма и размеры изготовленной детали могут существенно отличаться от исходной заготовки, что усложняет условия их захватывания, удержания, обработки и предъявляет соответствующие требования к конструкции захватных органов и оснастки, которые должны быть достаточно универсальными. При этом особую роль занимает система автоматизации управления РТК, обеспечивающая синхронную работу всех его органов.

В ходе работы разработана система управления роботизированным комплексом автоматизированной штамповки лопаток компрессора ГТД. Цель проектирования системы управления РТК – разработка комплекта электрических принципиальных схем и сборочного чертежа для реализации системы управления.

Система управления РТК (Рисунок 4) – предназначено для управления устройствами и механизмами РТК.

Рисунок 4. Система управления РТК

С помощью системы управления РТК в автоматическом режиме реализуются следующие технологические и вспомогательные переходы операции объёмной штамповки:

- загрузка исходной заготовки печь;
- нагрев исходной заготовки;
- очистка (обдувка) штампа и подача графитовой смазки;
- загрузка нагретой исходной заготовки в штамп пресса;
- пластическая деформация (штамповка) исходной заготовки;
- выгрузка полученной заготовки.

Новым решением при построении системы управления является использование стандартизованных решений с применением универсальных программно-аппаратных средств и различных наборов модулей ввода-вывода. Такой подход позволил добиться простоты

разработки и конфигурирования при создании программируемой логики управления автоматизированным объектом.

Существенным новшеством является также интеграция системы управления с автоматизированным рабочим местом оператора по цифровому интерфейсу. Это позволяет, в частности, при изменении в алгоритме управления процессом автоматически дублировать информации в программе отображения этого процесса.

При разработке программного обеспечения АСУ основным новшеством является встраивание в систему модуля верификации. Существует вероятность того, что управляющая программа роботизированного комплекса может содержать ошибки, появившиеся на этапе постпроцессирования, которые могут привести к столкновениям подвижных узлов роботов с элементами пресса, печи или др. устройств, что может привести к поломке как захвата, так и самого манипулятора. Для выявления подобных ситуаций модуль верификации содержит основные параметры РК и логику его работы, позволяя провести реалистичную имитацию работы оборудования по заданной управляющей программе до ее непосредственного запуска.

При создании РТК автоматизированной штамповки лопаток компрессора на ПАО «ОДК-Сатурн» разработана и внедрена технология высокопроизводительной штамповки лопаток (назначение режимов штамповки, количества переходов и применение нового оборудования – электровинтового пресса и опытной печи для нагрева заготовок до температуры пластического деформирования).

Разработана и внедрена технология высокопроизводительной смазки штампов для снижения коэффициента трения в паре «штамп-заготовка» - станции подачи спрея по технологии Airless фирмы Nordson (измельчение, подача и нанесение сухого коллоидно-графитового препарата С-2).

За счёт применения операции «Штамповка объёмная» на РТК автоматизированной штамповки лопаток компрессора ГТД, технологический процесс изготовления заготовок лопаток был усовершенствован по следующим направлениям:

1) Сокращено общее количество технологических операций с 42 до 34, исключены трудоёмкие операции доводки и калибровки заготовки, уменьшены затраты материала и машинного времени на производство заготовок.

2) За счёт применения автоматизированного устройства для нанесения смазки повышена долговечность штамповой оснастки и улучшена стабильность качества поверхностного слоя заготовок.

3) За счёт применения автоматизированного магазина-накопителя исключены простои оборудования, обеспечена заданная ритмичность для серийного производства заготовок.

Таким образом, уникальность проекта заключается в разработке новых автоматизированных технологий штамповки лопаток компрессора ГТД, получении штамповок лопаток с минимальным припуском под

последующую механическую обработку, что существенно отразится на общей трудоемкости изготовления всей номенклатуры лопаток компрессора, и в конечном итоге, позволит снизить цену ГТД. На основе использованных инновационных научных решений созданный РТК (рисунок 5) позволяет выполнять штамповку лопаток в режиме синхронной работы без участия человеческого фактора, за счет этого обеспечивается: снижение трудоемкости изготовление заготовок лопаток на 70-80%; снижение себестоимости изготовление заготовок лопаток на 15-30%; увеличение пропускной способности штамповочного оборудования на 60%.

Рисунок 5. РТК