

©Кондратюк О.Л., Скоркин А.О.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН

1. Актуальность

Лопаточный аппарат является самой ответственной и наиболее дорогой частью турбины. Совершенствование технологии изготовления лопаток, изыскание новых более совершенных методов их обработки, обеспечение норм точности изготовления частей лопаток, а также снижение шероховатости поверхностей являются весьма актуальными задачами как с точки зрения повышения надежности и экономичности турбин, так и с точки зрения снижения их себестоимости.

Обработка лопаток, производимая по четырем сторонам заготовки, обязательно сопровождается сменой баз, т. е. необходимостью устанавливать заготовки для обработки на различные базовые поверхности. Базовые поверхности лопаток, создаются в начале обработки заготовки и используются в качестве установочных баз при выполнении большинства последующих операций.

Для достижения высокого качества лопаток следует стремиться к тому, чтобы основные элементы лопаток (хвосты, рабочие части, головки) были обработаны без смены баз.

2. Цель работы: создание технологического комплекса, реализующего сложные циклы многокоординатной высокоэффективной механической обработки крупногабаритных лопаток турбин за счет адаптивного управления процессом.

3. Задачи, решаемые в работе:

1. Сократить время шлифования (полирования) труднообрабатываемых сложнопрофильных материалов, поддерживая постоянную нагрузку на инструмент и используя плавные, непрерывные перемещения, которые так важны для осуществления такой обработки.
2. Полностью реализовать обработку рабочей поверхности лопатки за один «установ».

4. Основной материал

Разработанный станок для финишной обработки рабочей поверхности пера лопатки (рис. 1) создан на основе гибридных каркасных компоновок, имеющих механизмы параллельной структуры (МПС)

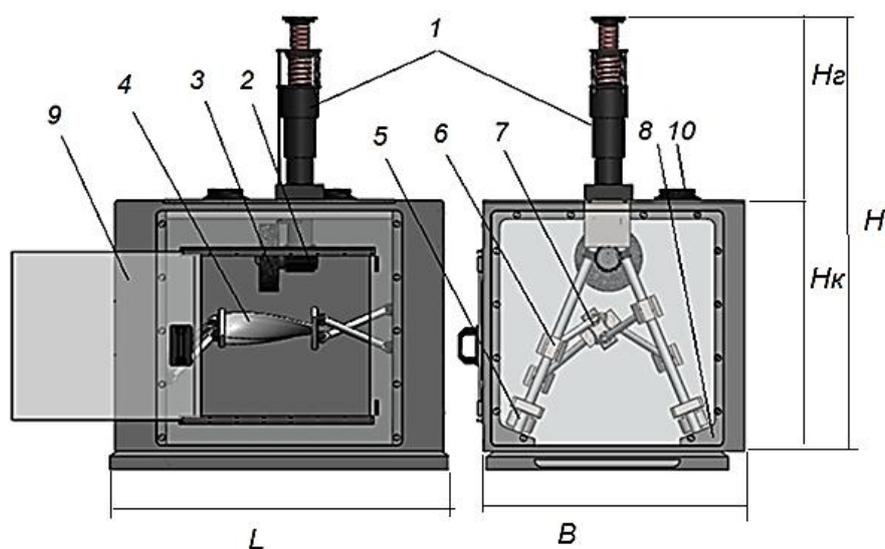


Рис. 1 – Предлагаемая компоновка станка для финишной обработки рабочей поверхности пера лопатки: 1 – силовая головка шлифовальная с электромагнитным приводом подачи; 2 – электродвигатель вращения абразивного круга; 3 – абразивный круг; 4 – заготовка (лопатка); 5 – шаговый двигатель, обеспечивающий перемещение каретки 6; 7 – станочное приспособление для крепления заготовки; 8 – корпус станка; 9 – прозрачная дверца; 10 – вытяжка.

Станки с параллельной кинематикой являются перспективной альтернативой традиционному металлообрабатывающему оборудованию. Пространственные МПС на штангах переменной или постоянной длины дают возможность обеспечить исполнительному органу (ИО) до 6-и степеней свободы при неизменной структуре механизма, выполнять ускоренные линейные перемещения с одновременной ориентацией относительно объекта обработки, позволяют ИО станка выполнять точные манипуляции с объектом обработки, например, такие, как измерение, переустановка или перебазирование. Станки, построенные на основе пространственных винтовых стержневых систем с МПС способны заменить громоздкие обрабатывающие комплексы для крупногабаритных деталей, а в некоторых случаях вытеснить станки традиционной компоновки за счет своей многофункциональности, меньшей массы, повышенной жесткости.

Концепция гибридного каркасного станка с МПС (рис. 1) реализована с использованием современных унифицированных модулей (рис. 2).

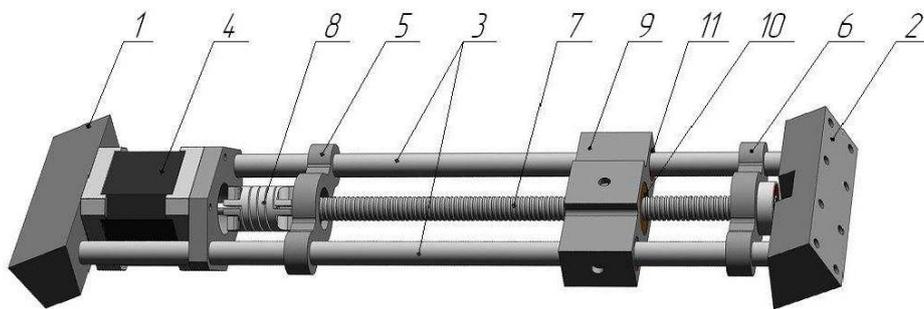


Рис. 2 – Универсальный модуль линейного перемещения для станков каркасных компоновок с МПС

Универсальный линейный модуль перемещения (рис. 2) является и несущей системой и состоит из нижнего 1 и верхнего 2 оснований, которые могут быть изготовлены как наклонными та и прямоугольными (в зависимости от желаемой компоновки станка); в верхнее и нижнее основание вставлены цилиндрические направляющие 3, на которых крепится шаговый двигатель 4 и два подшипниковых узла 5 и 6. Двигатель соединен с ходовым винтом 7 при

помощи упругой муфты 8. Ходовой винт 7 приводит в движение каретку 9, в которой размещена ходовая гайка 10 и втулки скольжения 11. Пара винт-гайка может быть как скольжения, так и качения (шарики-винтовая передача), аналогично и втулки могут быть как скольжения, так и качения, в зависимости от поставленных задач и возможностей. Каретка предусматривает возможность установки на ней (с любой стороны) необходимого типа шарниров (рис. 3) с требуемым количеством степеней свободы, предусмотренных конструкцией и возможностями станка. Кроме того, конструкция модуля предусматривает установку концевых датчиков для контроля положения каретки.



Рис. 3 – Шарнирное станочное приспособление для крепления лопатки

При помощи данного модуля можно в короткие сроки собрать требуемую каркасную конструкцию станка необходимых размеров, обладающую высокой точностью и жесткостью.

В качестве привода подачи силовой головки (поз. 1 рис. 1) используем электромагнит постоянного тока с неподвижным корпусом- сердечником (рис. 4).

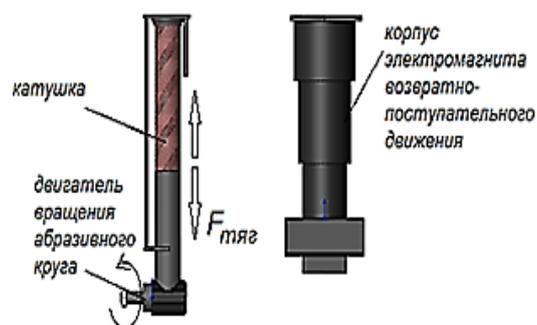


Рис. 4 – Силовая головка с электромагнитным приводом подачи, обеспечивающая постоянную силу прижима круга к обрабатываемой поверхности лопатки

Особенность данного привода в том, что полезная работа совершается за счет выталкивания катушки, намотанной на диэлектрический каркас, скользящий по направляющим и несущий на себе двигатель вращения шлифовального круга и это обеспечивает регулируемое врезание круга в поверхность заготовки с управляемым усилием подачи не зависимо от изменения диаметра шлифовального круга. Такой принцип обеспечивает упругую схему резания.

Электромагнитный привод может иметь различную конфигурацию магнитной системы, что позволяет придать ему форму, удобную для выполнения требуемой технологической операции, работать с различными величинами ходов, менять амплитуду хода и т.д. Схема питания и управления линейным электромагнитным двигателем (ЛЭМД) позволяет обеспечить сложные режимы преобразования подведенной электроэнергии в механическую работу.

Учитывая требования, предъявляемые к процессу шлифования труднообрабатываемых материалов наиболее полное использование режущих свойств инструмента (шлифовального круга), его стойкости, а также обеспечения технологических требований надо вести обработку с максимально допустимой подачей, которая прямо пропорциональна радиальной составляющей P_y (рис. 5), и соответственно силе тяги $F_{тяг}$, развиваемой электромагнитным приводом подачи.

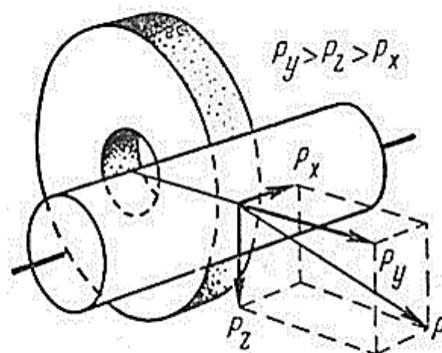


Рис. 5 – Схема сил резания при круглом шлифовании

Наиболее важным фактором, ограничивающим $F_{\text{тяг}}$ при шлифовании, является появление «прижогов» на поверхности заготовки.

Указанные обстоятельства приводят к необходимости управления процессом обработки путем варьирования величиной $F_{\text{тяг}}$ путем отвода шлифовального (полировального) круга из зоны резания при достижении значений силовых параметров, близких к критическим.

Система согласования силовых параметров

Схема динамической системы шлифовальной головки показана на рис. 6.

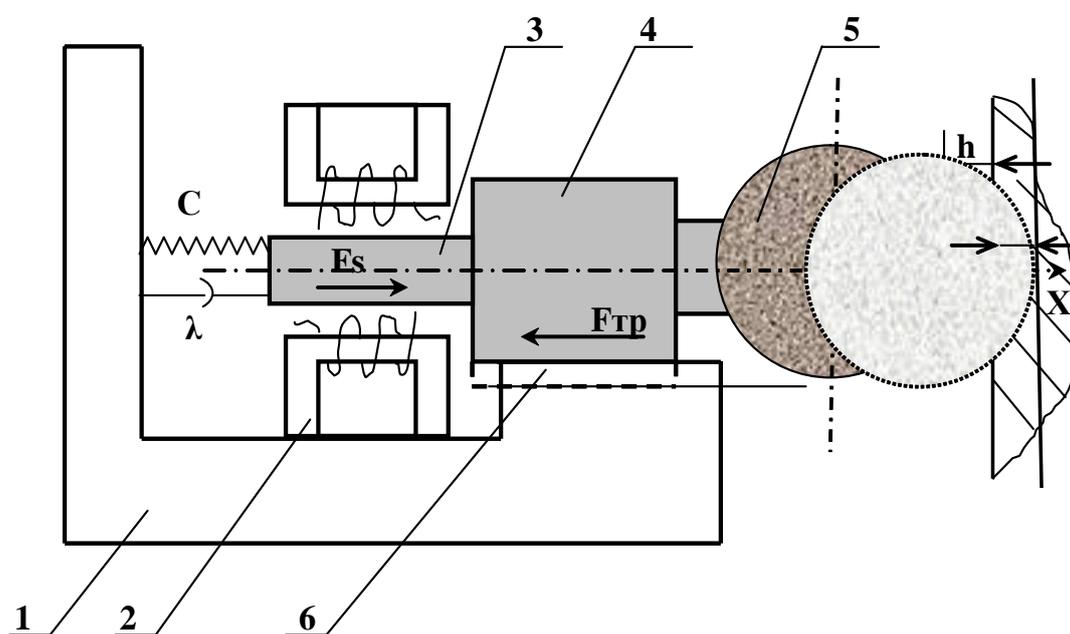


Рис. 6 – Схема динамической системы силовой головки

На станине 1 неподвижно установлен электромагнитный линейный двигатель 2, якорь 3 которого жестко соединен с двигателем 4, сообщаящим главное (вращательное) движение шлифовальному кругу 5. Электродвигатель 4 с якорем 3 линейного двигателя установлены на каретке 6, которая под действием электромагнитной силы линейного двигателя перемещается по направляющим станины в направлении оси X. Каретка 6 присоединена к станине через пружину с жесткостью C и демпфером с коэффициентом демпфирования λ . Пружина необходима для удержания силовой головки в отведенном положении при выключенной подаче.

Необходимость применения демпфера обусловлена тем, что при подводе круга к детали происходит значительный разгон каретки, а это при врезании приведет к поломке инструмента из-за превышения условия прочности. Сила сопротивления демпфера пропорциональна скорости перемещения головки, что позволяет, выбрав значения λ и, как следствие, конструктивные параметры демпфера, уменьшить скорость врезания.

Линейный электромагнитный двигатель и двигатель вращательного движения являются двигателями постоянного тока с бесступенчатым регулированием за счет изменения напряжения, подведенного на их якоря.

Поскольку обработка предполагает последовательное выполнение нескольких циклов врезания и отвода круга («ослабление $F_{тяг}$ ») из зоны резания, то управление таким движением в функции координаты (X) осуществить очень трудно. Нами предложен следующий алгоритм управления силовой головкой (рис. 7).

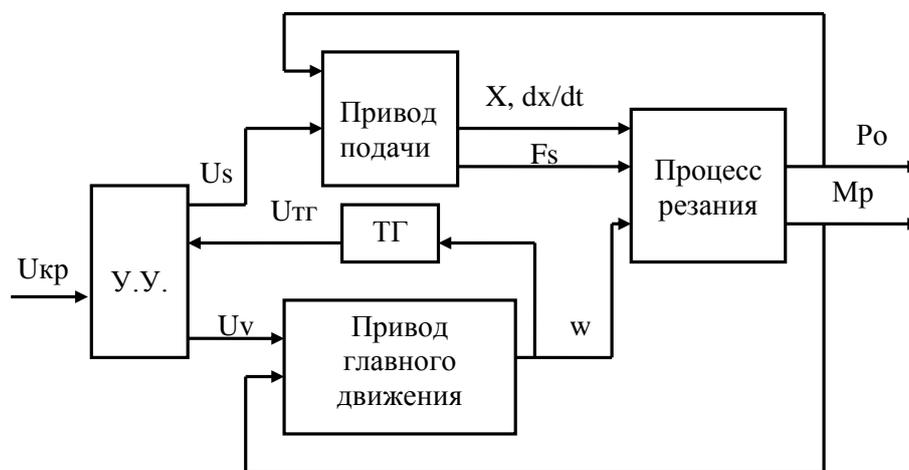


Рис. 7 – Функциональная схема управления динамической системой силовой головки

В исходном положении головка отведена от детали на расстояние h . Оба электродвигателя выключены. После установки заготовки и её закрепления включается двигатель вращательного движения и с небольшой задержкой – линейный двигатель. Шлифовальный круг проходит путь h и начинает врезаться в заготовку. С увеличением глубины врезания крутящий момент $M_{кр}$

и радиальная составляющая P_y увеличиваются в результате сопротивления сил трения. Таким образом, как $M_{кр}$, так и P_y являются функциями глубины шлифования X .

Управление процессом следует вести по предельно допустимому значению $M_{кр}$. Однако измерение его также является сложной задачей. В то же время известно, что рост момента сопротивления ведет к падению угловой скорости двигателя, которая измеряется достаточно просто. Тем более что двигатели постоянного тока могут поставляться со встроенными тахогенераторами (ТГ), напряжение на выходе которого ($U_{тг}$) пропорционально угловой скорости ротора двигателя. Таким образом, можно ограничить крутящий момент $M_{кр}$ соответствующим напряжением на выходе тахогенератора $U_{тг}$.

«Входом» в привод подачи является напряжение U_s , подведенное на якорь линейного двигателя, которое преобразуется в F_s – силу подачи. Выходными координатами привода подачи являются перемещения круга X , скорость этого перемещения dx/dt с силой подачи F_s . Входной координатой привода главного движения является напряжение U_v , подаваемое на якорь двигателя. Выходной координатой является угловая скорость ω ротора двигателя. Выходные координаты приводов преобразуются процессом сверления в радиальную силу резания P_y и крутящий момент $M_{кр}$. Эти выходные координаты процесса резания осуществляют обратные воздействия на приводы. Изменение момента резания ведет к изменению угловой скорости ротора, а изменение осевой силы резания ведет к изменению скорости dx/dt подачи.

Напряжение U_s и U_v задается в устройстве управления УУ, там же происходит сравнение напряжения на выходе тахогенератора $U_{тг}$ с $U_{кр}$, которое также задано в УУ. При $U_{тг} > U_{кр}$ привод подачи продолжает работать перемещая каретку в положительном направлении оси X : обработка продолжается. При падении $U_{тг}$ ниже $U_{кр}$ переключается полярность обмотки якоря линейного двигателя и происходит отвод головки.

Ориентирование лопатки в пространстве обеспечивается с помощью приспособления, показанного на рис. 7 и универсального модуля рис. 8.

Двигатели (шаговые) универсального модуля, в зависимости от конфигурации рабочей части лопатки ориентируют обрабатываемый объект таким образом чтобы обеспечит его постоянный контакт с шлифовальным кругом.

Выводы

Отсутствие жестких кинематических связей, совмещение параметров функционирования двигательного и исполнительного органа без промежуточных преобразователей, возможность регулирования в широких пределах выходных характеристик при наличии обратной связи позволило создать технологический комплекс с высокими технико-технологическими показателями в виде динамической системы, состоящей из двигателей постоянного тока, задающего ориентированное вращение лопатке турбины по заданной траектории, линейного электромагнитного двигателя, исполняющего роль привода подач, и адаптивной системы управления, которая согласует работу всей динамической системы.

Список использованных источников:

1. Кузнецов Ю. Н. Компоновка станков с механизмами параллельной структуры / Ю. Н. Кузнецов, Д. А. Дмитриев, Г. Е. Диневич ; под ред. Ю. Н. Кузнецова. – Херсон: ЧП Вышнемирский В. С., 2010. – 471с.
2. Кондратюк О. Л. Розробка математичної моделі руху робочого органу пристрою / О. Л. Кондратюк, А. О. Скоркин, О. О. Литвинова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012.– 1/7(55). – С. 7–10.
3. Обзор методов финишной обработки рабочих поверхностей лопаток / Н. В. Вerezуб, О. Л. Кондратюк, А. О. Скоркин, Е. Г. Руденко// Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2011. – №6 (160). – С. 114-120.

Кондратюк О.Л., Скоркин А.О. «Технологическая система для высокопроизводительной механической обработки лопаток паровых турбин».

В статье рассматриваются вопросы создания технологического комплекса, реализующего сложные циклы высокоэффективной финишной обработки лопаток турбин за счет адаптивного управления процессом.

Ключевые слова: лопатка, финишная обработка, технологический комплекс, процесс.

Кондратюк О.Л., Скоркін А.О. «Технологічна система для високопродуктивної механічної обробки лопаток парових турбін».

У статті розглядаються питання створення технологічного комплексу, що реалізує складні цикли високоефективної фінішної обробки лопаток турбін за рахунок адаптивного управління процесом.

Ключові слова: лопатка, фінішна обробка, технологічний комплекс, процес.

Kondratyuk O.L., Skorkin A.O. “Technological system for high-performance machining of steam turbine blades”.

The questions of a complex process that implements a highly complex loops finishing turbine blades through an adaptive management process.

Key words: blade, finishing, processing complex, process.

Стаття надійшла до редакції 27 листопада 2012 р.