

**Ключевые слова:**

синхронное движение, автоматизированный электрический привод, связанная кинематика, развязка кинематических узлов

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С ЭЛЕКТРОННОЙ СИНХРОНИЗАЦИЕЙ ДВИЖЕНИЙ МЕХАНИЗМОВ

Никита ПОДЗОРОВ, Олег ОСИПОВ

Уход от связанной кинематики, переход к индивидуальному взаимосвязанному электроприводу позволяют повысить производительность, понизить требования к квалификации оператора и достичь более высокой точности конечного продукта. Рассмотрено развязывание кинематики зубофрезерного станка 5ЗА30 с применением электронной синхронизации инструмента и заготовки. Рассматривается вариант электронной синхронизации в машинах горячего тиснения.

ВВЕДЕНИЕ

Современные станки, различные специализированные машины и механизмы со сложными технологическими циклами обработки заготовок могут требовать высокой точности синхронного движения составляющих машины, которая напрямую связана с качеством конечного продукта. В статье рассмотрены два варианта модернизированных объектов с необходимостью точного поддержания позиционного перемещения при помощи автоматизированного электрического привода [1]. Первый объект – зубофрезерный станок, где точное поддержание синхронности движения необходимо на продолжительном промежутке времени для производства качественной шестерни. Второй объект – машина горячего тиснения, где важна кратковременная, но однообразная синхронность движения, так как пропускная способность (производительность) такой машины достигает десятков, а то и сотен изделий в минуту.

ЗУБОФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК 5ЗА30

Зубофрезерные станки требуют точной синхронизации движения, поскольку для создания зуба

правильной геометрии требуется не только качественно и точно изготовить механику станка, но и обеспечить одновременное высокоточное взаимосвязанное движение приводных осей станка.

В производимых ранее зубофрезерных станках синхронизация движения осуществлялась с помощью механических передач путем использования большого числа различных шлицевых валов, шестерен и гитар. Оси инструмента, заготовки и осевой подачи были связаны через механику и приводились в движение одним приводным двигателем – станок обладал связанной кинематикой.

Связанная кинематика обладает простотой конструкции, но большой трудоемкостью в настройке: для обработки каждой новой заготовки, отличной от предыдущей, необходимо производить расчеты и настраивать гитару, что ведет за собой уменьшение общей производительности и увеличение вспомогательного цикла работы станка. К тому же, для работы на станке требуется специально обученный персонал, что в современных условиях – большая редкость. Понятна необходимость модернизации подобных станков с целью повышения точности обрабатываемых изделий, уменьшения брака, уве-

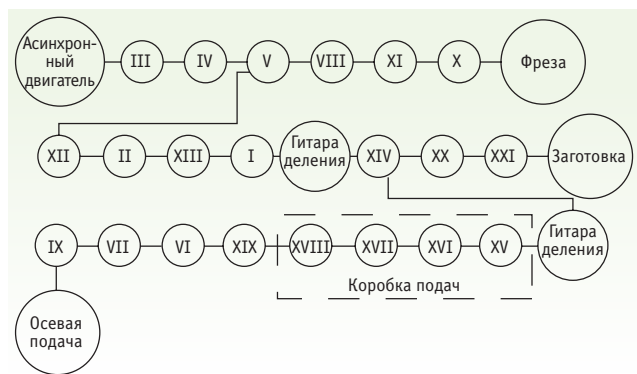


Рис. 1. Упрощенная функциональная схема связанной кинематики станка 53А30

личения производительности и снижения требований к квалификации оператора станка.

Один из объектов модернизации [2] – зубофрезерный станок 53А30, производства Егорьевского станкостроительного завода «Комсомолец», который имеет связанную кинематику (рис. 1).

Здесь римскими цифрами указаны кинематические узлы между механизмами станка, где имеются свои собственные люфты, которые могут увеличиваться со временем. Двигатель приводит в синхронное вращение инструмент (фрезу), стол с установленной на нем заготовкой и инструментальный суппорт, отвечающий за врезание инструмента в заготовку вдоль оси детали (осевое врезание).

Цель модернизации в развязке кинематики для сокращения времени настройки станка и времени, затрачиваемого на изготовление детали. Для этого предложено установить на каждую ось собственный независимый электропривод. Синхронизация движения будет осуществляться не с помощью механической части, а через электронный редуктор при помощи внешнего контроллера движения [3] корпорации YASKAWA (MP3300IEC).

Предлагаемая кинематическая схема модернизации станка 53А30 представлена на рис. 2.

Здесь заметно уменьшено число передаточных механизмов по отношению к исходной схеме. В связи с конструкцией станка некоторые передаточные механизмы упразднить не получилось, поэтому от двигателя М1 до фрезы они остались. Но данные узлы не влияют на конечный результат: кинематическая цепь короткая, движение оси производится однонаправленно, а большое передаточное отношение в конечном звене кинематической цепи препятствует раскрытию люфта.

На осях, участвующих в формообразовании зуба (вертикальная и горизонтальная подачи), были установлены моторы с планетарными редукторами. Червячный редуктор на оси поворотного стола оставлен, так как на нем не требуются высокие скорости вращения, а люфты сведены к минимуму из-за высокой точности изготовления червячной пары и малого бокового зазора в зацеплении.

Для управления приводами в реальном времени предложен контроллер с цифровым интерфейсом MechatrolinkIII (цикл приема/передачи составляет 0,25 мс): благодаря такому короткому циклу обеспечивается высокая точность синхронизации и быстрая реакция между приводами осей. Контроллер также участвует в управлении дискретными и аналоговыми входами/выходами, модулями счетчиков и осуществляет обмен данными с оператором через НМІ-панель.

НМІ-панель используется оператором для выбора необходимого типа технологического процесса обработки детали, задания параметров обработки и инструмента, ввода параметров изделия, которое требуется получить после обработки.

Подобной модернизацией станка 53А30 реализуется двухуровневая система, где на верхнем уровне находится контроллер движения, а на нижнем – все подконтрольные ему устройства. Контроллер производит все математические расчеты, настраиваемые до модернизации оператором с помощью

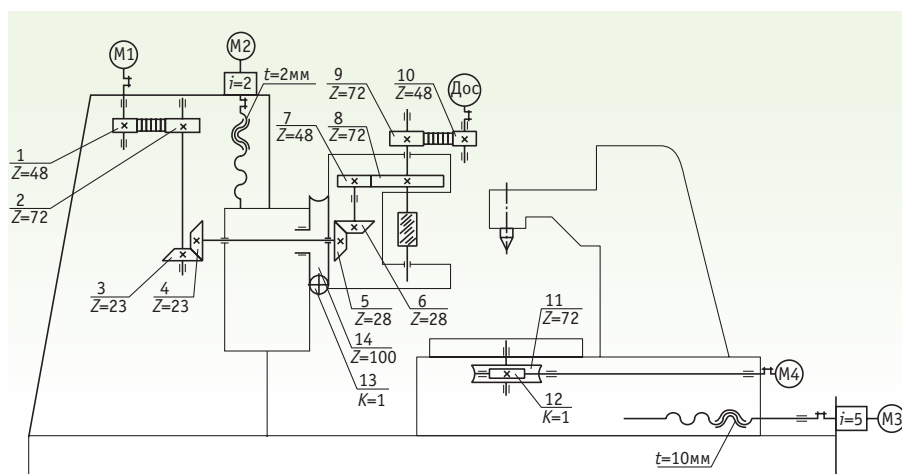


Рис. 2. Предлагаемая кинематика модернизированного зубофрезерного станка 53А30

гитары и конечных выключателей. С помощью панели ведется контроль работы станка и действий оператора, которые заносятся в базу данных. Данные по каждой детали можно хранить в архиве и повторно использовать в будущем.

Результатом модернизации станка стала его лучшая управляемость, настройка и позиционирование, что, в свою очередь, способствовало увеличению качества и количества выпускаемых изделий. Работа оператора со станком стала проще, а его квалификация не требует того высокого уровня, который был необходим до модернизации.

МАШИНА ГОРЯЧЕГО ТИСНЕНИЯ

Важность точной синхронизации движения отдельных составляющих можно наблюдать на примере станка горячего тиснения фольгой [3].

Подобная машина используется для нанесения печати из цветной фольги на боковую поверхность крышек (колпачков) с поверхности клише для емкостей разного назначения (рис. 3).

Кинематика станка включает в себя бункер (контейнер) с заготовками, рукава подачи крышек на мандрели поворотного стола, на которых крепится заготовка, пневмомеханизм одевания колпачка (позиция 1), механизм тиснения фольги, пневмомеханизм сброса крышек с нанесенным изображением в бункер готовых изделий. В позиции 2 происходит основная технологическая операция – нанесение фольги на заготовку, плотно надетую на мандрель: мандрель поднимается в верхнее положение (дальше от центра стола), затем входит в синхронный поворот по часовой стрелке на 360° с соответствующим горизонтальным перемещением слева направо клише с наносимым рисунком. После чего мандрель опускается, теряя контакт с клише, которое после этого перемещается справа налево, возвращаясь в исходную позицию. Поворотный стол

осуществляет вращение против часовой стрелки на 72° , перемещая мандрель с готовым колпачком в позицию 3, где она сбрасывается в контейнер готовых изделий. В то же время новая мандрель с заготовкой перемещается из позиции 1 в позицию 2, и повторяется основная технологическая операция.

Полный технологический цикл (рис. 4) включает в себя ряд вспомогательных операций:

- контроль натяжения фольги и ее перемотка;
- зацепление и сдвиг колпачка с мандрели;
- контроль температуры клише;
- позиционирование колпачка при операции тиснения и т.д.

Основной вспомогательной операцией является контроль натяжения фольги с заданным усилием на всем промежутке тиснения и ее перемотка во время цикла. С разматывающей бобины новая фольга сматывается на заданную длину и запасается для одного технологического цикла тиснения на пневмонакопителе фольги. После этого во время цикла тиснения пневмоэлементы сжимаются для нанесения фольги. Отработанная фольга не должна провисать во время цикла тиснения, поэтому она выравнивается протяжкой синхронно с данным циклом. После протяжки фольга запасается для равномерной подачи на сматывающую бобину пневматическим механизмом поступательного движения – дансером. Его максимальный ход в 1,5...2 раза больше длины фольги, используемой в цикле движения, что способствует предотвращению его выхода в крайнее критическое положение.

Оценка технологии работы станка показала возможность увеличения производительности за счет изменений в механике и алгоритме работы машины. В механике необходимо уйти от операции подъема мандрели за счет жесткой установки ее на столе, при этом для клише должен обеспечиваться вертикальный ход (за счет шарико-винтовой пары): это позволит столу свободно вращаться после разрыва контакта клише и мандрели, пока поднятое клише

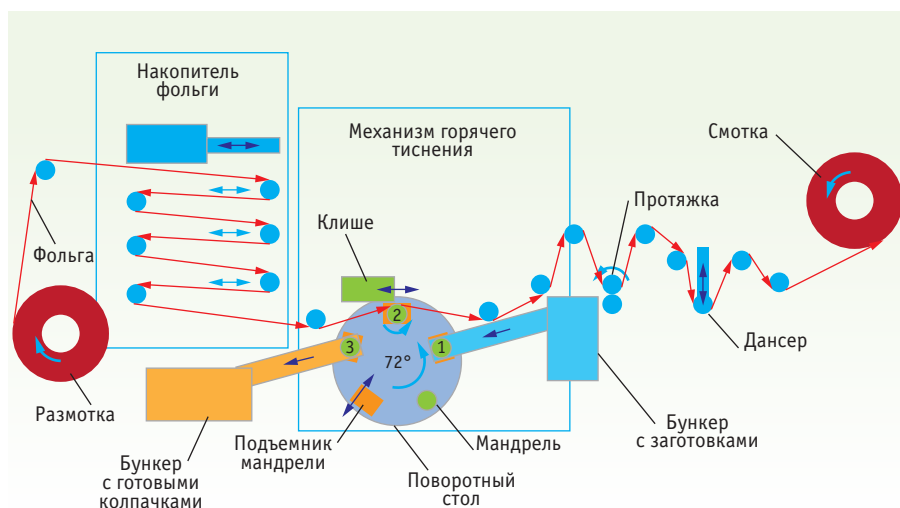


Рис. 3. Структурная схема машины горячего тиснения

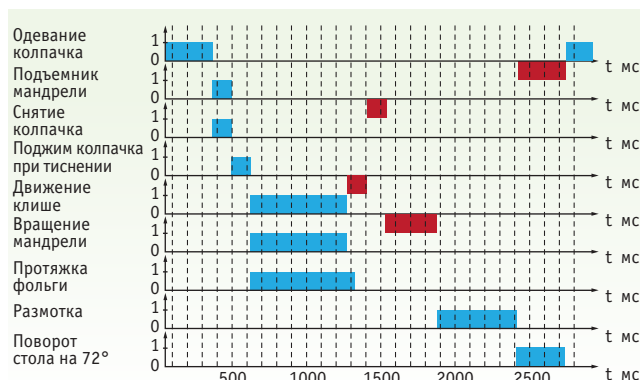


Рис. 4. Технологический цикл и циклограмма работы машины горячего тиснения до модернизации

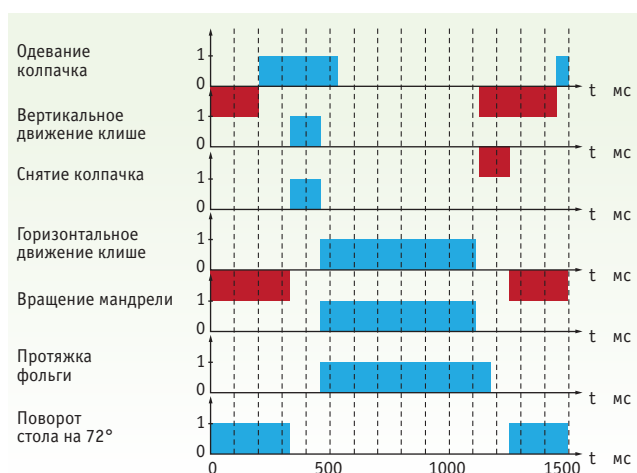


Рис. 5. Циклограмма улучшенного алгоритма работы машины горячего тиснения

выходит в исходную позицию. В алгоритме работы машины часть движений можно выполнять параллельно, а не последовательно: это позволит уменьшить общее время выполнения одного цикла (рис. 5).

Предложенная циклограмма работы основных элементов станка показала возможность увеличения его производительности в 2,16 раз, а установка современного оборудования в виде сервоприводов YASKAWA позволяет повысить это число еще больше.

В результате модернизации станка выпуск изделий увеличился с 26 шт./мин до 50 шт./мин, а максимальная производительность станка составила 100 шт./мин (при снижении качества продукции из-за проблем с точностью изготовления механических частей).

ВЫВОДЫ

На каждом из рассмотренных объектов произведены испытания точности синхронизации и рассогласования позиций во время цикла обработки

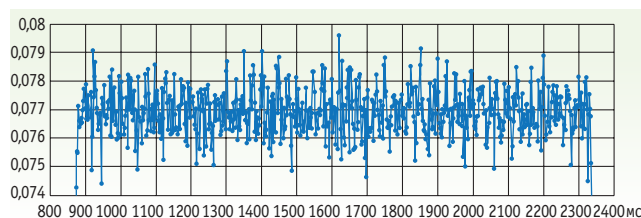


Рис. 6. Рассогласование позиций при электронной синхронизации

изделия. На рис. 6 представлен фрагмент одной из осциллограмм рассогласования позиций при скачкообразном набросе нагрузки в течение синхронного движения. В момент времени от 1000 до 2200 мс скачкообразно подавалась нагрузка на ведущую и ведомую ось. Скачки в нагрузке доходили до 100% от номинального момента двигателей. Наброс нагрузки должен был показать, насколько сильным будет рассогласование позиционной синхронизации, и на основании этих данных можно сделать выводы о получаемом качестве обработки детали.

Размах рассогласования на установившемся режиме не превышал 0,006 мм (6 мкм), что на конечный продукт не оказывает влияния, на зубчатых колесах видна допустимая чистота обработки, а на колпачках смещение не выходит за рамки допустимого (растяжение/замытие) изображения.

Модернизация механизмов со связанной кинематикой может проводиться при помощи электронной синхронизации движений. Благодаря электронной синхронизации движений можно реализовывать более сложные циклы обработки, ранее не заложенные для данного станка, например обработку овальной шестерни на станках типа 53A30 и 53A50.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Зимин Е.Н.** Автоматическое управление электроприводами. М.: Высшая школа, 1979. 320 с.
2. **Трофимов О.В., Ефимычев Ю.И., Ефимычев А.Ю., Шпилов 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

ПОДЗОРОВ Никита Николаевич –
главный специалист по приводной технике ООО «КоСПА»

ОСИПОВ Олег Иванович –
доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ»