

1566465

На правах рукописи

АЙРАПЕТЯН АРМЕН СААКОВИЧ

УДК 621.777.24

ПОВЫШЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ
МЕХАНИЗМОВ (ПНЕВМОПРИВОДОВ) ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ
И ДРУГИХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ЛИСТОШТАМПОВОЧНОГО
ПРОИЗВОДСТВА

Специальность 05.03.05. - Процессы и машины обработки давлением

Специальность 05.02.05. - Роботы, манипуляторы и робототехнические
системы

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва, 2000

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете имени Н. Э. Баумана

Научный руководитель:

Официальные оппоненты:

Ведущее предприятие:

доктор технических наук,
профессор, Заслуженный
деятель науки и техники
Е.И. Семенов

доктор технических наук,
профессор, Заслуженный
деятель науки и техники
Е.Н. Ланской,
кандидат технических
наук, доцент В.И. Пахомов



АО МТО ВПТИТЯЖМАШ

2000г. в 11⁰⁰ час.

К 053.15.13 в Московском
те имени Н. Э. Баумана по адресу:
4 5.

ляре, заверенный печатью, просим

блиотеке МГТУ им. Н. Э. Баумана.

2000г.

И.Н.Шубин

37

Тир 100 экз.

1566465

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Листовая штамповка, как один из прогрессивных методов обработки металлов, находит широкое применение в металлообрабатывающей промышленности. Особенностью листовой штамповки по сравнению с другими видами обработки металлов является незначительное машинное время, затрачиваемое на обработку одной детали. Основное время затрачивается на вспомогательные операции: загрузку-выгрузку заготовок, транспортировку их между переходами, укладку и смену штампов и т.п. В результате высокопроизводительное прессовое оборудование используют лишь на 15-20%. Следовательно, минимизация времени рабочего хода средств автоматизации листоштамповочного производства (ЛШП), обслуживающих вспомогательные операции, приводит к уменьшению простоя основного технологического оборудования и является одним из основных источников повышения производительности ЛШП.

1366465—
За кажущимися простыми операциями, связанными с загрузкой заготовок в матрицу штампа и удалением деталей, транспортировкой их между переходами, скрывается сложный комплекс пространственных движений. Сложность движений, их разнообразие, частая сменяемость изделий, конструктивные различия деталей и многооперационность их изготовления являются главной причиной в силу которых эти процессы иногда не поддаются целесообразной автоматизации традиционными средствами. Одним из универсальных средств автоматизации ЛШП являются промышленные роботы (ПР). Именно ПР, как функциональные аналоги человеческой руки, призваны разрешить сложившееся противоречие между возможностями существующих средств автоматизации ЛШП и требованиями к современному многоцелевому производству. Внедрение ПР в производственный процесс решает и такой важный вопрос, как обеспечение стабильности качества и свойств изготавливаемых изделий.

Одним из путей повышения быстродействия ПР и других средств автоматизации ЛШП является повышение скорости перемещения исполнительных органов ПР, т.е. повышение быстродействия их приводов. Наиболее распространенным приводом в ПР для листовой штамповки является пневматический привод (ПП), который обеспечивает сравнительно высокую скорость перемещения и является наиболее простым, дешевым и надежным.

Целью работы является повышение быстродействия исполнительных механизмов (пневмоприводов) ПР и других средств автоматизации листоштамповочного производства путем использования линейных ускорителей в



виде кольцевых магнитов, теоретическое и экспериментальное исследование динамических характеристик пневмоприводов ПП.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать и создать экспериментальную установку, на которой провести исследование динамики пневматического привода без линейного магнитного ускорителя и с ускорителем.

2. Провести теоретическое исследование изменения динамических характеристик ПП с линейным магнитным ускорителем и создать математическую модель.

3. Сравнить результаты теоретического и экспериментального исследования данного метода и дать рекомендации по выбору оптимальных параметров быстродействующего ПП ПР для ЛШП.

4. На основе этих исследований создать новые конструкции ПП ПР для ЛШП и предложить их для применения в промышленности.

5. Разработать экспериментальную установку и провести исследование формоизменения листовых заготовок при горизонтальном перемещении руки ПР.

Методы исследования. В работе применяли теоретические и экспериментальные методы исследования. Задачей теории является совместное решение уравнений механики и термодинамики, характеризующих движущие силы и силы сопротивления при использовании сжатого воздуха как рабочего тела механизма. Для решения полученной системы уравнений используют приближенные методы численного интегрирования.

Основным направлением экспериментов являлось исследование влияния изменения магистрального давления в ПП, количества магнитных ускорителей (сила магнитного воздействия), массы и размеров перемещающихся листовых заготовок, хода руки робота на время прямого и обратного хода и на скорость и ускорение движения руки ПР, а также исследование формоизменения листовых заготовок.

Научная новизна. Разработана математическая модель для расчета ПП двустороннего действия горизонтального перемещения сложением магнитного ускорителя для рабочего и обратного хода поршня, позволяющая исследовать динамические характеристики и быстродействие ПП при изменении магистрального давления, количества и комбинации (сила воздействия) магнитных ускорителей, массы перемещающихся листовых заготовок и хода руки робота.

В математической модели предложен новый алгоритм ввода движущих сил, в частности силы воздействия магнитных ускорителей, которые теоре-

тически невозможно представить в виде определенных уравнений. Данный алгоритм заключается в аппроксимации экспериментально полученной кривой силы воздействия кольцевых магнитов на несколько прямых и их поочередный ввод в математическую модель в виде линейных уравнений.

Предложен способ повышения быстродействия исполнительных механизмов (пневмоприводов) ПР и других средств автоматизации ЛШП с использованием магнитных ускорителей.

Разработана и предложена методика проведения скоростной киносъемки для исследования формоизменения листовых заготовок при горизонтальном перемещении руки ПР.

Достоверность результатов теоретических исследований динамических характеристик пневмоприводов подтверждена тем, что они основаны на фундаментальных законах и уравнениях механики и термодинамики, где учтены основные факторы, влияющие на динамические характеристики пневмоприводов, а также хорошим совпадением с результатами экспериментальных исследований. Результаты экспериментов измеряли и регистрировали на оборудовании, которое многократно использовалось и проверено в практике исследования пневмоприводов.

Практическая ценность. Разработана и предложена компактная и надежная система исполнительного механизма (пневмопривода) ПР и других средств автоматизации ЛШП, которая отличается от обычной, но легко модернизируется, что позволяет значительно повысить ее быстродействие.

Разработанная методика проведения скоростной киносъемки листовых заготовок позволяет наблюдать, какие процессы происходят с листовыми заготовками во время их горизонтального движения.

Апробация работы. Основные положения диссертации доложены и обсуждены: на 1-й научно-технической конференции "Механика и новые технологии", г.Севастополь, 1995г.; на 4-ой Дальневосточной научно-технической конференции "Совершенствование электрооборудования и средств автоматизации технологических процессов промышленных предприятий", г. Комсомольск-на Амуре, 1995г.; на Всероссийской юбилейной научно-технической конференции "100-летие со дня рождения профессора А.И. Зимина", г.Москва, МГТУ им. Баумана, 1995г.; на научно-технической конференции, посвященной 165-летию МГТУ им. Баумана, г.Москва, 1995г.; научно-технической конференции "Моделирование и исследование сложных систем", г.Кашира, 1996г.; на Всероссийской юбилейной научно-технической конференции "100-летие со дня рождения доктора технических наук М. В

Сторожева", г.Москва, МГТУ им. Баумана, 1996г; 2-й научно-технической конференции "Механика и новые технологии", г.Севастополь, 1997г.

Публикации. По материалам диссертации опубликованы 6 печатных работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, списка литературы и приложения. Работа изложена на 122 страниц машинописного текста, 43 рисунков, 8 таблиц и список литературы из 83 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель и задачи исследования, дана общая характеристика работы.

В первой главе проведен анализ общего состояния вопроса и предложены пути решения поставленной задачи.

Рассмотрены основные средства автоматизации, применяемые для обслуживания вспомогательных операции ЛШП, отмечены недостатки традиционных средств автоматизации, доказаны необходимость и преимущества использования таких универсальных средств автоматизации какими являются ПР. Показано, что производительность ЛШП в основном зависит от быстродействия средств автоматизации вспомогательных операций. Приведены существующие пути повышения быстродействия ПР, основными из которых являются: оптимальное совмещение движений по координатам в ПР; оптимизация расположения технологического оборудования и ПР; применение многоруких манипуляторов; повышение скорости перемещения исполнительных органов ПР, т.е. повышение быстродействия их приводов. Последний из отмеченных путей является одним из наиболее перспективных, потому, что широкому использованию других методов очень часто мешают такие факторы, как условия выполнения вспомогательных операций, несимметричный цикл технологического процесса, существующие взаиморасположение ПР и прессового оборудования, а также сложная траектория движения листовых заготовок. Отмечено, что наиболее широко используемым приводом в устройствах средств автоматизации ЛШП является пневматический привод, как наиболее дешевый, надежный, простой в обслуживании и обеспечивающий сравнительно высокие скорости перемещения. Приведен анализ способов регулирования скорости перемещения и устройств автоматического торможения ПР, который показал, что они обладают рядом существенных недостатков, к которым следует прежде всего отнести дискретность регулирования параметров. Проведен также анализ путей повышения быстродействия исполнительных механизмов (пневмоприводов) ПР и других средств автоматизации.

зации ЛШП, который показал необходимость поиска и разработки новых методов повышения быстродействия, в частности применения линейных магнитных ускорителей, и их теоретическое и экспериментальное исследование. Необходимо также исследовать процессы происходящие с листовыми заготовками во время горизонтального движения рукой ПР, которые практически не исследованы вообще.

В конце главы сделаны соответствующие выводы по обзору литературы и сформулированы цель и задачи исследования.

Вторая глава посвящена теоретическому исследованию динамических характеристик пневмопривода горизонтального перемещения средств автоматизации листовой штамповки с применением линейных магнитных ускорителей.

Динамическое уравнение типового двустороннего пневмопривода горизонтального перемещения имеет вид:

$$m\ddot{x} = pF - p_v F_v - P, \quad (1)$$

где $P = p_a F_m + P_1 + P_2$; m -масса поступательно-движущихся частей; $\ddot{x}$ -ускорение поршня; p , p_v -давление соответственно в полости давления и противодавления; p_a -атмосферное давление; F -площадь поршня со стороны давления; F_v -площадь поршня со стороны противодавления; F_m -площадь штока; P_1 -сила вредного сопротивления листовой заготовки; P_2 -сила полезного сопротивления (демпфирования).

Поскольку мы поставили перед собой цель достичь повышения быстродействия пневмопривода путем использования линейных магнитных ускорителей, то нам необходимо внести изменения в динамические уравнения движения поршня пневмопривода с учетом силы воздействия магнитов и предложить новую математическую модель движения двухстороннего пневмопривода с наложением действия линейных магнитных ускорителей.

С учетом выше указанного уравнение движения поршня двустороннего пневмопривода с линейным магнитным ускорителем будет иметь следующий вид:

$$m\ddot{x} = pF - p_v F_v - P + F_m, \quad (2)$$

где F_m -сила воздействия магнитных ускорителей (в качестве движущей силы использует сила отталкивания магнитов).

В природе существуют силы, которые невозможно представить в виде определенных уравнений, и одной из таких является сила воздействия кольцевых магнитов. В связи с этим предлагается новый алгоритм ввода таких сил в математическую модель. Сначала экспериментальным путем определяется кривая зависимости, а потом путем аппроксимации этих кривых не-

сколькими линиями вводится в математическую модель в виде линейных уравнений. В нашем случае с помощью экспериментов были получены кривые зависимости силы воздействия магнитных ускорителей от расстояния между ними, их было 3: комбинаций магнитов 1 и 1 (сила воздействия кольцевых магнитов 30Н), 2 и 1 (сила воздействия кольцевых магнитов 36Н), 2 и 2 (сила воздействия кольцевых магнитов 46Н). Пример зависимости силы воздействия магнитных ускорителей от расстояния между ними представлен в рис 1. Каждая из этих кривых была аппроксимирована двумя линиями, которые потом поочередно были введены как линейные уравнения в предложенную математическую модель.

Уравнение движения поршня (2) должно быть решено с уравнениями, характеризующими изменения давления в обеих полостях пневмопривода, т.е. с уравнением наполнения сжатым воздухом рабочей полости и уравнением опорожнения полости противодавления, которые имеют следующий вид:

$$K R T_m d\theta_m = K p_d V + V dp, \quad (3)$$

$$-K R T_b d\theta_b = K p_b V_b + V_b dp_b, \quad (4)$$

где K -коэффициент адиабаты ($K=1.4$); R -универсальная газовая постоянная; T_m, T_b -абсолютная температура воздуха в магистрали и в полости противодавления; θ, θ_b -количества воздуха поступающего в полость и вытекающего из нее; V, V_b -объемы рабочей полости и полости противодавления.

Для решения этой задачи вводится ряд допущений: неизменность температуры и давления во время процессов, протекающего в пневмоцилиндрах; отсутствие влияния теплообмена с окружающей средой, использование приближенных формул расхода воздуха.

Решение выше названной системы уравнений (2),(3),(4) в конечном виде является невозможным, поэтому здесь применяются приближенные методы численного интегрирования. Для этой цели удобнее эти уравнения написать в следующем виде:

$$\begin{aligned} \Delta p_i &= (K/x_{i-1})[(G_m R T_m / F) - p_{i-1} x'_{i-1}] \Delta t_i; \quad p_i = p_{i-1} + \Delta p_i; \\ \Delta p_{b_i} &= (K/(S_{i-1} + 2x_0 - x_{i-1}))[-G_b R T_b / F_b - p_{b_{i-1}} x'_{i-1}] \Delta t_i; \quad p_{b_i} = p_{b_{i-1}} + \Delta p_{b_i}; \\ x''_i &= (p_i F - p_{b_i} F_b) / m - P / m + P_w / m; \quad x'_i = x'_{i-1} + x''_i \Delta t_i; \quad x_i = x_{i-1} + x'_{i-1} \Delta t_i + x''_i \Delta t_i^2 / 2; \end{aligned} \quad (6)$$

где x'', x', x_i -ускорение, скорость и перемещение поршня; Δt_i -шаг по времени, G_m и G_b -соответственно расходы воздуха поступающего из магистрали в рабочую полость и вытекающего из полости противодавления.

Численное интегрирование системы уравнений (6) проводится до тех пор, пока значение перемещения поршня не станет равным его рабочему ходу, т.е. $X = X_0 + S$. Сумма интервалов времени при этом будет равна времени

перемещения поршня. А продолжительность подготовительного и заключительного периодов может быть определен по формуле:

$$t_3 = (0.00362 V / (\mu f)) [\psi_1(Y_2) - \psi_1(Y_1)], \quad (7)$$

где $\psi(Y)$ — функция, характеризующая изменение давления и температуры в полости давления и противодействия в уравнении теплового баланса; μ — коэффициент расхода (определяется эмпирическим путем); f — площадь сечения подводящей линии; $Y = p/p_m$ — отношение текущего давления в полости к давлению в магистрали.

Основными направлениями теоретических исследований являлись:

1) Влияние изменения магистрального давления на время подготовительного периода, на время перемещения поршня и на полное время прямого хода пневмопривода.

2) Влияние изменения количества и комбинации кольцевых магнитов (сила воздействия кольцевых магнитов) на время подготовительного периода, на время перемещения поршня и на полное время прямого и обратного хода пневмопривода.

3) Влияние изменения массы и размеров листовых заготовок на время подготовительного периода, на время перемещения поршня и на полное время прямого хода пневмопривода.

Расчеты проводили при: ходе поршня пневмопривода 30 мм и 75 мм; магистральном давлении 0.25 МПа, 0.30 МПа, 0.35 МПа, 0.40 МПа; количестве кольцевых магнитных ускорителей 2-4 штук; комбинации магнитов: 1и1 (сила воздействия кольцевых магнитов 30 Н), 2и1 (сила воздействия кольцевых магнитов 36 Н), 2и2 (сила воздействия кольцевых магнитов 46 Н); массах груза и размерах листовых заготовок: 0.1 кг и 290x145x0.3 мм³; 0.2 кг и 412x206x0.3 мм³. Установлено:

1) Повышение давления в магистрали является одним из лучших способов увеличения быстродействия пневмоприводов ПР. При ходе поршня пневмопривода 30 мм и 75 мм, при изменении магистрального давления от 0.25 МПа до 0.40 МПа в зависимости от применения кольцевых магнитных ускорителей и массы груза листовых заготовок время подготовительного периода пневмопривода уменьшается в среднем на 10%-16%, время перемещения поршня пневмопривода уменьшается в среднем на 42%-60%, полное время прямого хода пневмопривода уменьшается в среднем на 25%-42%.

2) Подтверждено сделанное нами предположение о целесообразности использования кольцевых магнитных ускорителей для повышения быстродействия пневмоприводов ПР. При ходе поршня пневмопривода 30 мм и 75 мм, массе перемещаемых листовых заготовок 0, 0.1, 0.2 кг и при использо-

вании кольцевых магнитных ускорителей с силой магнитного воздействия 30-40Н по сравнению с их отсутствием время подготовительного периода пневмопривода уменьшается в среднем на 15-22% при магистральном давлении 0.25МПа и в среднем на 10-15% при магистральном давлении 0.40МПа, а время перемещения поршня пневмопривода уменьшается в среднем на 35-43% при магистральном давлении 0.25МПа и в среднем на 12-17% при магистральном давлении 0.40МПа. При указанных значениях ходов поршня и массах перемещающихся заготовок, быстродействие прямого хода пневмопривода увеличивается в среднем на 28-34% при магистральном давлении 0.25МПа и в среднем на 12-17% при магистральном давлении 0.40МПа. Полное время обратного хода увеличивается в среднем на 11% при магистральном давлении 0.25 МПа и в среднем на 6% при магистральном давлении 0.40 МПа.

3) При ходе поршня пневмопривода 30мм и 75мм, при использовании листовых заготовок массой 0.1кг и 0.2кг в качестве груза по сравнению с их отсутствием время подготовительного периода пневмопривода увеличивается соответственно на 1.5% и 3.5% при использовании кольцевых магнитных ускорителей и на 2% и 4% при их отсутствии, время перемещения поршня пневмопривода при магистральном давлении 0.25МПа увеличивается соответственно на 4% и 8% при использовании кольцевых магнитных ускорителей и на 9% и 18% при их отсутствии, а при магистральном давлении 0.40МПа увеличивается соответственно на 3% и 5% при использовании кольцевых магнитных ускорителей и на 4% и 7% при их отсутствии, полное время прямого хода пневмопривода при магистральном давлении 0.25МПа увеличивается соответственно на 3% и 7% при использовании кольцевых магнитных ускорителей и на 6% и 12% при их отсутствии, а при магистральном давлении 0.40МПа увеличивается соответственно на 2% и 5% при использовании кольцевых магнитных ускорителей и на 3% и 7% при их отсутствии.

Анализируя полученные результаты теоретических исследований, можно сделать вывод о процессе, который происходит в пневмоприводах. При ходе вперед происходит динамическое воздействие кольцевого магнитного ускорителя на поршень пневмопривода. В результате поршень начинает перемещаться при меньших давлениях воздуха, что приводит к сокращению времени подготовительного периода. В первоначальный момент движения поршень получает также толчок, который уменьшает время перемещения поршня, приводя таким образом к повышению быстродействия прямого хода пневмопривода.

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям динамических характеристик пневмопривода ПР МП-9С, широко используемом в листоштамповочном производстве, а также исследования формоизменения листовых заготовок при горизонтальном движении руки ПР.

Для проверки достоверности полученных результатов теоретических исследований динамических характеристик пневмоприводов средств автоматизации ЛШП и оценки точности разработанной математической модели, необходимо было проведение экспериментальных исследований. Был создан испытательно-измерительный комплекс, позволяющий решить поставленные экспериментальные задачи. Экспериментальная установка состоит из ПР МП-9С, компрессора, ресиверов, манометров, датчиков давления и перемещения, платы сопряжения датчиков и регистрирующей аппаратуры (самописцы Н-338) рис. 2.

С помощью разработанной методики проводили экспериментальные исследования динамических характеристик пневмопривода горизонтального перемещения ПР МП-9С, по результатам которых установлено:

1) При ходе поршня пневмопривода 30мм и 75мм, массе перемещаемых листовых заготовок 0,0,1,0,2кг и при использовании кольцевых магнитных ускорителей с силой магнитного воздействия 30-40Н по сравнению с их отсутствием быстродействия прямого хода пневмопривода увеличивается на 26-35% при магистральном давлении 0,25МПа и на 13-19% при магистральном давлении 0,40МПа. Таким образом, использование кольцевых магнитных ускорителей при любых значениях магистрального давления и массы перемещаемых листовых заготовок приводит к однозначному увеличению быстродействия пневмопривода. При этом чем больше сила воздействия кольцевых магнитных ускорителей, тем лучше полученные результаты. В нашем случае наилучшее значение получаем при силе воздействия кольцевых магнитных ускорителей 46Н и комбинации магнитов 2-2.

2) Повышение магистрального давления приводит к увеличению быстродействия пневмоприводов. При ходе поршня пневмопривода 30мм и 75мм, при изменении магистрального давления от 0,25МПа до 0,40МПа в зависимости от применения кольцевых магнитных ускорителей и массы груза листовых заготовок время подготовительного периода пневмопривода уменьшается в среднем на 7%-14%, время перемещения поршня пневмопривода уменьшается в среднем на 43%-60%, полное время прямого хода пневмопривода уменьшается в среднем на 28%-40%.

3) При ходе поршня пневмопривода 30мм и 75мм, при использовании листовых заготовок массой 0,1кг и 0,2кг в качестве груза по сравнению с их

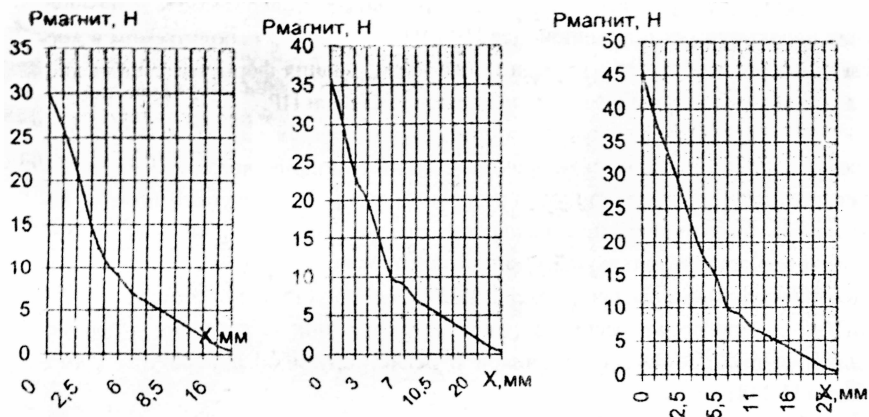


Рис.1. Зависимость силы воздействия магнитных ускорителей от расстояния между ними.

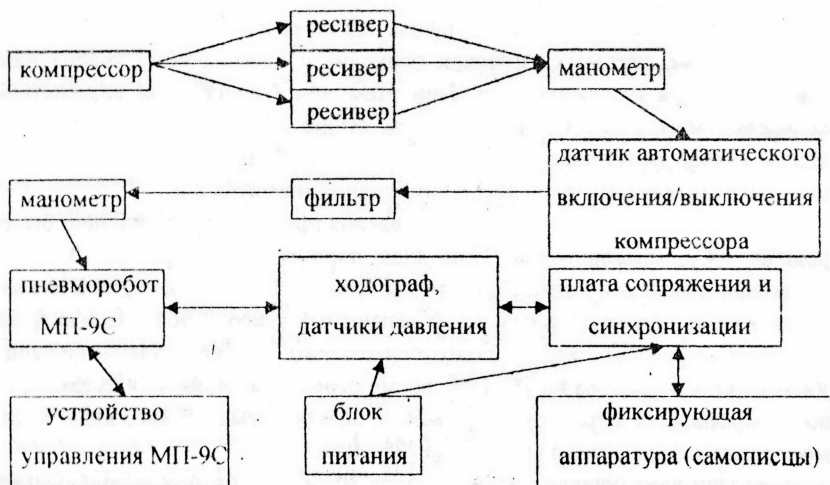


Рис.2. Структурная схема экспериментально-измерительного комплекса.

отсутствием полное время прямого хода пневмопривода при магистральном давлении 0.25МПа увеличивается в среднем на 5% и 11% при использовании кольцевых магнитных ускорителей и на 6% и 14% при их отсутствии, а при магистральном давлении 0.40МПа в среднем на 3% и 7% при использовании кольцевых магнитных ускорителей и на 4% и 8% при их отсутствии.

Основным перемещением при транспортировке листовой заготовки руки робота является горизонтальное перемещение. Листовые заготовки в зависимости от толщины и размеров и от условий ее захвата во время перемещения из одной точки в другой подвергаются воздействию встречного потока воздуха, увеличивается статическая и динамическая нагрузка на заготовку, появляются инерционные процессы, которые приводят к вибрации системы, трудностям установки заготовки в штампе и другим нежелательным результатам.

Чтобы выбрать необходимую максимальную скорость, необходимо знать конкретные перемещения листовой заготовки при транспортировке и ее остановке в зависимости от вышеуказанных факторов.

С этой целью было выполнено исследование формоизменения используемых нами листовых заготовок при горизонтальном перемещении руки пневматического робота. Был исследован простейший случай, когда заготовка зажата клещами с края и образует как бы консоль. Для исследований была выбрана скоростная киносъемка формоизменения листовой заготовки. Создан испытательно-измерительный комплекс, в составе которого находятся пневматический робот ПР-9С, скоростная кинокамера СКС-1М, павильонные киносъемочные осветители "солнце" и реперная сетка. По разработанной методике проведения скоростной киносъемки горизонтально движущихся листовых заготовок, исследовался прогиб заготовок, весом 0.1кг. и с размерами 145х290х0.3мм³ и весом 0.2кг. и с размерами 206х412х0.3мм³ при изменении магистрального давления от 0.25МПа до 0.40МПа и использование магнитных ускорителей с силой воздействия магнитных ускорителей 9.11Н (комбинация 2и2).

Установлено, что при повышении быстродействия, путем увеличения магистрального давления и применения линейных магнитных ускорителей, динамический прогиб заготовок изменяется незначительно. Следует учитывать обший прогиб и колебательный процесс листа при торможении во время проектирования траектории движения руки пневматического робота и выбора параметров точности позиционирования. Это относится к листовым заготовкам и режимам движения, которые входят в рамки исследования.

В четвертой главе выполнен анализ сравнения результатов теоретических и экспериментальных исследований динамических характеристик пнев-

моприводов и сделано предложение по применению новой конструкции пневмопривода с магнитными ускорителями.

С целью подтверждения правильности разработанной математической модели пневмопривода горизонтального перемещения необходимо было сравнить полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований. При сравнении выявлено хорошее совпадение результатов. Различие между результатами теоретических и экспериментальных исследований составляет от 1.5 до 5.9%.

Анализ полученных результатов подтверждает предположение о целесообразности применения кольцевых магнитных ускорителей для повышения быстродействия пневмоприводов ПР. Характеристика нагрузки используемых нами магнитных ускорителей в зависимости от количества и комбинаций кольцевых магнитов дают возможность получить силу воздействия на поршень от 30Н до 46Н. При этом установлено, что наилучшие характеристики, в частности наименьшее полное время прямого хода, при любых магистральных давлениях получаются при силе воздействия магнитных ускорителей 46Н (комбинация магнитов 2-2).

Нами предлагается новая конструкция пневмопривода с кольцевым магнитным ускорителем силой воздействия 46Н и комбинацией магнитов 2-2 для промышленного робота МП-9С рис.3.

На основе разработанной конструкции пневмопривода предлагается модернизировать существующий автоматизированный комплекс для двухпереходной штамповки, производительность которого будет на 20% выше по сравнению с базовым вариантом. А условный экономический эффект от внедрения в производство модернизированного автоматизированного комплекса двухпереходной штамповки будет составлять 52 129руб. (цены 1998г) на единицу оборудования.

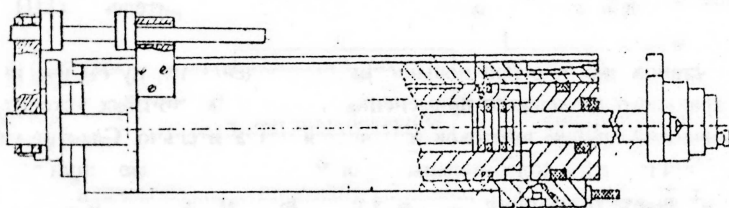


Рис. 3. Пневмопривод ПР МП—9С с линейным магнитным ускорителем.

Общие выводы

1. Анализ литературы показал, что современная производительность листовой штамповки при ручном обслуживании прессов не удовлетворяет требованиям промышленности. Сложный и разнообразный комплекс пространственных движений загрузки и разгрузки прессового оборудования, частая сменность изделий, конструктивные различия деталей и многооперационность их изготовления являются главными особенностями, в силу которых листоштамповочное производство часто не поддается автоматизации традиционными средствами. ПР, заменяющие человека при работе на прессах также не обеспечивают достаточную производительность и требуются исследования и разработка новых конструкций с более быстродействующими приводами. Поэтому тема работы является актуальной.

2. Предложен новый способ повышения производительности листоштамповочного производства путем повышения быстродействия исполнительных механизмов (пневмоцилиндров) ПР и других средств автоматизации, за счет использования линейных ускорителей в виде кольцевых магнитов.

Применение таких ускорителей сокращает время хода руки робота вперед или назад и наоборот, увеличивает соответственно время хода назад или вперед. При симметричном цикле работы пневмопривода никакого общего увеличения быстродействия не происходит. Выигрыш можно получить только в быстродействии либо по ходу вперед, либо по ходу назад с соответствующей установкой ускорителя. Если при ходе вперед быстродействие увеличивается, а при ходе назад падает, но общий цикл несимметричный, то падение быстродействия при ходе назад не сказывается на общем времени цикла, а увеличение быстродействия при ходе вперед сокращает общее время цикла и производительность РТК увеличивается.

Применение кольцевых магнитов как ускорителей обусловлено такими важнейшими показателями, как простота и надежность конструкции, ее компактность, и наконец, график рабочей нагрузки магнита, согласно которому при малых расстояниях между магнитами можно получить большую движущую силу.

3. Разработана математическая модель для расчета пневмопривода двустороннего действия горизонтального перемещения с наложением магнитного ускорителя для рабочего и обратного хода поршня, позволяющая исследовать динамические характеристики и быстродействия пневмопривода

при изменении магистрального давления, силе взаимодействия магнитов, массе перемещающихся листовых заготовок и ходе руки робота.

В математической модели предложен новый алгоритм ввода движущих сил, в частности, сила воздействия магнитов, которую теоретически невозможно представить в виде определенных уравнений. Данный алгоритм заключается в аппроксимации экспериментально полученной кривой силы взаимодействия кольцевых магнитов на несколько прямых и их поочередный ввод в математическую модель в виде линейных уравнений.

4. На базе разработанной математической модели проведены теоретические исследования влияния изменения магистрального давления, количества и комбинации магнитных ускорителей, массы и размеров перемещающихся листовых заготовок при разных ходах поршня на быстродействие пневмоприводов ПР. Установлено, что среднее время полного хода пневмопривода при использовании линейных магнитных ускорителей данных характеристик по сравнению с их отсутствием уменьшается на 26-35%, при магистральном давлении 0.25МПа и на 13-19%, при магистральном давлении 0.40МПа.

5. Разработана экспериментальная установка для исследования динамических характеристик пневмопривода поступательного перемещения с использованием линейных магнитных ускорителей и без них. Проведены экспериментальные исследования влияния изменения магистрального давления, количества и комбинации магнитных ускорителей, массы и размеров перемещающихся листовых заготовок при разных ходах поршня на быстродействие пневмоприводов ПР МП-9С, который широко используется для автоматизации процесса листовой штамповки мелких деталей. Установлено, что наилучшие характеристики, в частности, полное время прямого хода при любых магистральных давлениях и массах перемещающихся листовых заготовок, получается при силе воздействия магнитных ускорителей 46Н (комбинация магнитов 2-2).

6. Сравнение экспериментальных результатов динамических характеристик пневмопривода с теоретическими показали хорошее совпадение и подтвердили правильность разработанной математической модели. Различия между результатами теоретических и экспериментальных исследований составляет от 1.5 до 5.9%. Достоверность результатов теоретических исследований динамических характеристик пневмоприводов подтверждена тем, что они основаны на фундаментальных законах и уравнениях механики и термодинамики, где учтены основные факторы, влияющие на динамические характеристики пневмоприводов, а также хорошим совпадением с результатами экспериментальных исследований. Результаты экспериментов измеряли и ре-

гистрировали на оборудовании, которое многократно использовалось и проверено в практике исследования пневмоприводов.

7. Разработана и предложена методика проведения скоростной киносъемки для исследования формоизменения листовых заготовок при горизонтальном перемещении руки ПР. Создан экспериментальный комплекс, на котором проведены исследования формоизменения листовых заготовок при горизонтальном перемещении руки пневматического робота. Установлено, что при повышении быстродействия пневмопривода путем увеличения магистрального давления и применения линейных магнитных ускорителей, динамический прогиб листовых заготовок изменяется незначительно. Следует учитывать общий прогиб и колебательный процесс листа при торможении во время движения руки пневматического робота и выборе параметров точности позиционирования. Это относится к листовым заготовкам и режимам движения, которые входят в рамки исследования.

8. Исходя из результатов теоретических и экспериментальных исследований, разработан и предложен в виде новой конструкции исполнительный механизм (пневмопривод) с линейным магнитным ускорителем с силой магнитного воздействия 46Н и комбинаций кольцевых магнитов 2-2 для ПР МП-9С и других средств автоматизации листоштамповочного производства.

На основе разработанной конструкции пневмопривода предлагается модернизировать существующий автоматизированный комплекс для двухпереходной штамповки, производительность которого будет на 20% выше по сравнению с базовым вариантом.

9. Условный экономический эффект от внедрения в производство модернизированного автоматизированного комплекса двухпереходной штамповки будет составлять 52 129руб. (цены 1998г) на единицу оборудования.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Исследование увеличения быстродействия пневматического привода промышленного робота для листовой штамповки / Е.И. Семенов, М.А. Крючков, А.Ю. Выжигин, А.С. Айрапетян А.С // Механика и новые технологии: Тезисы докладов Международной НТК. - Севастополь, 1995. - С. 82-84.

2. Исследование увеличения быстродействия пневматического привода специализированного промышленного робота для листовой штамповки / Е.И. Семенов, М.А. Крючков, А.Ю. Выжигин, А.С. Айрапетян А.С // 100-летие со дня рождения профессора А.И. Зимина: Материалы Всероссийской юбилейной НТК. - М., 1995. - С. 39-46.

3. Семенов Е.И., Айрапетян А.С., Папирин Н.В. Исследование формоизменения листовой заготовки при горизонтальном перемещении руки пневматического робота // Технологические процессы и оборудования кузнечно-штамповочного производства: Материалы Всероссийской юбилейной научно-технической конференции "100-летие со дня рождения д-ра техн. наук М.В. Сторожева".-М., 1996.-С. 97-10.

4. Айрапетян А.С. Исследование быстродействия пневматического привода промышленного робота для листовой штамповки // Моделирование и исследование сложных систем: Тезисы докладов Всероссийской НТК. – Кашира, 1996. - С. 138-140.

5. Разработка комплекса программных средств по исследованию динамики пневматического привода линейного перемещения с использованием различного типа ускорителей для листовой штамповки / А.Ю. Выжигин, В.А. Соколовский, К.А. Якимчиков, А.С. Айрапетян // Математическое моделирование и управление в сложных системах: Сб. науч. тр. / Под. ред. С.Н Музыкина. – М., 1997. - С. 123-132.

6. Семенов Е.И., Айрапетян А.С., Папирин Н.В. Экспериментальное исследование формоизменения листовой заготовки при горизонтальном перемещении. Механика и новые технологии: Материалы 2-й Международной НТК конференции // Вестник СевГТУ (Севастополь). - 1997. - №8. - С.135-137.