УДК 62–8: 669.02/09

В.И.Большаков, И.Б.Листопадов, К.В.Коноваленко

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКИХ И ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН

Приведены результаты анализа причин неравномерности подачи в валки пильгерстана. Показано существование участков гильзы с аномально высокой неравномерностью подачи. Сделаны предположения о причинах неравномерности подачи. Сформулировано направление исследований, которое позволит целенаправленно совершенствовать конструкции механизмов и систем управления

Введение. Работа гидравлических механизмов, участвующих непосредственно в технологических операциях, часто сопровождается динамическими процессами в гидроприводе. Наиболее распространенной причиной этого являются торможение рабочего органа или мгновенное снятие (приложение) технологической нагрузки. Динамические процессы в гидроприводе одного механизма служат возмущением для другого. В ряде случаев эти возмущения являются причиной неудовлетворительной работы машин.

Кроме динамического переходного процесса, на качество работы машины или комплекса машин негативное влияние может оказывать и статический переходной процесс, связанный, например, с изменением баланса сил, действующих на каждый из механизмов при изменении режима их работы [1].

Современное состояние вопроса. Примером взаимного влияния различных механизмов и систем, входящих в комплексную систему, является пилигримовый стан. Пилигримовый стан представляет собой сложную комбинированную систему, состоящую из электромеханической системы прокатной клети с рабочими валками, трансмиссией и приводом; пневмогидромеханическую систему подающего аппарата, включающего воздушный цилиндр, пневматическое и гидравлическое тормозные устройства, механизм кантовки; гидромеханическую систему механизма подачи. Все системы, механизмы и устройства взаимосвязаны функционально и оказывают друг на друга различного рода воздействия. На структурной схеме комбинированной системы пильгерстана (рис.1), показано взаимодействие систем и механизмов, входящих в состав стана.

Электромеханическая система задает ритм прокатки в виде оборотов рабочих валков (n) и осуществляет циклическое перемещение подвижных масс подающего аппарата (поршень и шток пневмоцилиндра, дорн с гильзой) от валков на величину раскатки гильзы ($S_{пр}$) со скоростью прокатки ($v_{пр}$) за время поворота валков на угол холостого хода валков ($\alpha_{хх}$). При перемещении подвижных масс от валков происходит сжатие воздуха в пневмоцилиндре. Таким образом, при прокатке осуществляется передача

энергии электромеханической системы к пневмо–гидромеханической системе.

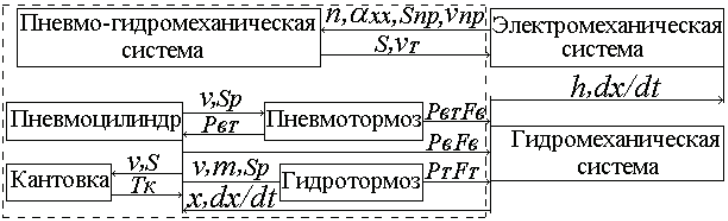

Рис.1. Структурная схема комбинированной системы пильгерстана

Пневмоцилиндр пневмогидравлической системы играет роль пневматической пружины, возвращая в каждом цикле подвижные массы (m) подающего аппарата к валкам на величину S. Начальное давление воздуха в пневмоцилиндре ($P_{во}$) задается из условия обеспечения перемещения подвижных масс к валкам за время их поворота на угол холостого хода (α_{xx}). Подход подвижных масс к валкам должен осуществляться со скоростью v_T (скорость встречи гильзы с валками) не выше v_T=0,2м/с, поэтому подвижные массы тормозятся. Торможение осуществляется гидравлическим (гидротормоз) и пневматическим (пневмотормоз) тормозными устройствами. При движении к валкам подвижные массы поворачиваются на заданный угол кантовки для обеспечения технологического процесса прокатки трубы. Анализ работы этих двух систем показывает, что их взаимодействие определяется двумя технологическими факторами – временем поворота валков на угол холостого хода и временем возврата подвижных масс к валкам, значения которых должны быть одинаковы для обеспечения процесса пилигримовой прокатки труб. Второй фактор – величина перемещения подвижных масс от валков. Эти технологические факторы взаимосвязаны через параметры прокатки труб при заданной скорости прокатки.

Важным этапом взаимодействия электромеханической и пневмогидромеханической систем является торможение подвижных масс подающего аппарата при подходе гильзы к валкам. Время торможения и скорость встречи гильзы с валками являются факторами, определяющими производительность пилигримового стана (время цикла) и надежность работы всего комплекса механизмов стана. Время и путь торможения определяются из решения уравнения движения подвижных масс подающего аппарата с учетом энергии, переданой электромеханической системой при прокатке пневмо–гидромеханической системе. Методика исследования и выбора оптимальных параметров гидравлических тормозных устройств, использующихся в подающих аппаратах, обобщены в работе [2]. Исследования работы подающих аппаратов с пневмогидравлическим торможением не проводились и влияние пневмотормоза на движение подвижных

масс подающего аппарата не выяснено. Все выводы относительно роли дополнительного пневмотормоза базируются на результатах немногочисленных экспериментальных исследований, проведенных сотрудниками ИЧМ с участием авторов работы на пильгерстанах ТПЦ №4 ООО Интерпайп–НТЗ.

При работе пилигримового стана существует два режима торможения подвижных масс. В одном режиме торможение подвижных масс заканчивается подходом переднего конца плунжера пневмоцилиндра к крайнему переднему положению тормозного устройства с конечной скоростью – плунжер касается передней стенки тормозной буксы подающего аппарата. При работе в этом режиме захват гильзы валками происходит при неподвижной гильзе. Второй режим торможения – гильза подходит к валкам с конечной скоростью. Этот режим работы называется «гильза бьет в валки» и довольно популярен среди вальцовщиков. В таком режиме плунжер не доходит до передней стенки буксы на неопределенную величину. Оба режима работы подающего аппарата являются нештатными, т.к. негативно влияют на процесс пилигримовой прокатки труб и надежность оборудования.

Изложение основных материалов исследования.

Для обеспечения штатного (принятого) режима работы пилигримового стана в ИЧМ разработана, исследована экспериментально и на электронной модели и опробована система автоматической синхронизации работы подающего аппарата и клети пильгерстана (система «аппарат–валки»). Материалы по исследованию и опробованию системы наиболее полно освещены в работе [2]. Основой разработки системы является положение о том, что в процессе прокатки труб на пилигримовом стане плунжер подающего аппарата должен находится в момент захвата гильзы валками на расстоянии 20–40мм от передней стенки буксы и жестко связанной с буксой каретки механизма подачи. Информационное обеспечение системы представляли два датчика, расположенные на расстоянии 20 и 40мм от переднего конца тормозного устройства (буксы). Регулирование положения плунжера подающего аппарата осуществляли изменением давления воздуха в пневмоцилиндре подающего аппарата. Алгоритм управления состоял в следующем: если передний конец плунжера в момент контакта гильзы с валками находится на расстоянии менее 20мм от передней стенки буксы, то необходимо уменьшать давление воздуха в пневмоцилиндре. Если передний конец плунжера находится на расстоянии 40мм и более от передней стенки буксы, то необходимо увеличивать давление воздуха в пневмоцилиндре. Для обеспечения заданной скорости встречи гильзы с валками, участок тормозной буксы, прилегающий к ее переднему концу, имел профиль, поддерживающий минимальную (ползучую) скорость подвижных масс. В системе управления учитывались технологические особенности, связанные с подготовкой переднего конца гильзы к прокатке (обкаткой пильгерголовки) и вспомогательными опера-

циями. Пильгерголовка представляет собой переходной участок между гильзой и трубой. Особенности процесса прокатки и работы механизма подачи в системе синхронизации не учитывались.

Гидромеханическая система механизма подачи должна обеспечивать непрерывную подачу прокатываемой гильзы к валкам пилигримового стана, перемещение подающего аппарата вдоль оси стана при вспомогательных операциях, связанных с установкой дорна с гильзой на подающий аппарат, извлечением дорна из трубы и удалением дорна из подающего аппарата. В состав гидромеханической системы входит каретка – платформа коробчатого сечения для установки подающего аппарата. Каретка перемещается по направляющим с помощью гидроцилиндров – одного для перемещения вперед к валкам клети и двух для хода назад. Управление гидроприводом осуществляется клапанными дистрибуторами. Скорость каретки регулируется дросселем на выходе гидроцилиндров хода назад. Поскольку все операции, совершаемые гидромеханической системой, происходят с прокатываемой гильзой установленной на подающем аппарате, то ее рабочий орган – каретка жестко связана с корпусом подающего аппарата. Такая особенность конструкции приводит к тому, что все процессы, происходящие в приводе механизмов подающего аппарата, являются возмущением для гидромеханической системы.

Нестабильность подачи гидромеханическими механизмами, вызванная работой электромеханической и пневмогидромеханической систем, исследовалась, практически с начала эксплуатации пилигримовых станов. Повышенное внимание к изучению нестабильности подачи объясняется ее влиянием на качество труб и на нагрузки в главной линии стана. Например, по данным экспериментальных исследований, полученных сотрудниками ИЧМ с участием авторов работы при прокатке труб 8"х8 в ТПЦ №4 ОАО Интерпайп – НТЗ, изменение подачи в смежных циклах (Δh), вызванное не одинаковой в каждом цикле прокатки скоростью вращения валков, достигает Δh = 10,8 мм/об при средней подаче h = 17,85 мм/об. Различная в смежных циклах подача металла в валки пильгерстана вызывает увеличение нагрузок в приводной линии рабочих валков (в данном примере крутящий момент, измеренный на шпинделе верхнего валка, увеличивается на 22%) и, что более важно, приводит к дефектам геометрии труб (продольная и поперечная разнотолщинность труб).

В работах [2–4] обобщены основные причины неравномерности подачи, приведены направления уменьшения неравномерности подачи и результаты натурных и модельных исследований оборудования пилигримовых станов с устройствами для стабилизации подачи. Однако причины нестабильности подачи полностью не изучены до настоящего времени. Основной причиной такого положения является, по нашему мнению, фрагментарный подход к исследованиям, что не позволяет учесть особенности работы систем и механизмов стана.

Одной из особенностей работы пилигримового стана является изменение положения (дрейф) подвижных масс подающего аппарата относительно каретки механизма подачи во время прокатки гильзы. О наличии дрейфа свидетельствует система синхронизации «аппарат–валки» [2], регламентирующая его допустимую величину 20мм. Изменение положения подвижных масс отмечено в работе [5]. В работе упомянуты три вида захвата металла валками. Принудительный режим – когда вершина пильгерголовки находится впереди за точкой встречи металла с валками (точка С). Естественный режим – когда вершина пильгерголовки совпадает с точкой С. Затравочный режим – когда вершина пильгерголовки находится позади точки С. Отмечено, что причиной изменения режимов захвата металла валками является отсутствие синхронизации работы подающего аппарата и валков, а также изменяющееся в процессе прокатки давление воздуха в пневмоприводе. Следует заметить, что изменение давления воздуха в пневмоприводе возможно в двух случаях – при сбросе давления воздуха оператором стана и при изменении положения подвижных масс.

Анализ изменения подачи по длине трубы, проведенный нами по данным экспериментальных исследований, содержащихся в [6], показывает, что при прокатке трубы существуют зоны, в которых разброс подач имеет значение выше среднего. Эти зоны находятся на начальном и конечном участке гильзы и занимают 40–50% ее длины, что не соответствует устоявшимся представлениям о распределении неравномерности подачи по длине трубы. Повышенный разброс подач ранее был зафиксирован [2] при обкатке пильгерголовки в начале процесса прокатки и при докатке пильгерголовки в конце прокатки, т.е. во время операций с активным вмешательством оператора в управление станом. Эти фазы прокатки происходят на начальном и конечном участках, занимающих 5–10% длины гильзы. Неравномерность подачи по длине трубы за исключением коротких концевых участков согласно [3] постоянна.

На рис.2 представлены зависимости (кривые с маркерами) и их тренды (достоверность аппроксимации R^2=0,99) изменения величины подачи (h), амплитуды (A) и частоты (β) колебаний каретки, дисперсии разброса подач (D) по длине (l) заготовки. Можно заметить, что нестабильная величина подачи наблюдается в начале и конце прокатки (кривая D). Такое явление можно объяснить изменением положения подвижных масс относительно каретки. В начале прокатки происходит период обкатки пильгерголовки и связанный с ней переходной процесс прокатки, а в конце прокатки – процесс, связанный с увеличением диаметра гильзы вследствие ударов гильзы о валки. Около 40% (средняя часть) гильзы прокатывается с незначительным отклонением подачи. Этот факт частично подтверждает выводы работы [3].

Изменение положения подвижных масс и режима захвата металла валками может происходить при прокатке практически всего сортамента труб, но наиболее отчетливо этот процесс наблюдался авторами работы

при прокатке труб из колесного слитка. После обкатки пильгерголовки и прокатки 15–20% длины гильза начала терять продольную устойчивость. В данном случае значительную роль играл повышенный нагрев гильзы. Диаметр гильзы увеличивался, и наблюдалось отставание подвижных масс от передней стенки тормозной буксы (дорнового замка от края желоба подающего аппарата), которое компенсировалось оператором стана за счет уменьшения скорости каретки (подачи). Дорновой замок – это устройство для соединения плунжера подающего аппарата с дорном.)

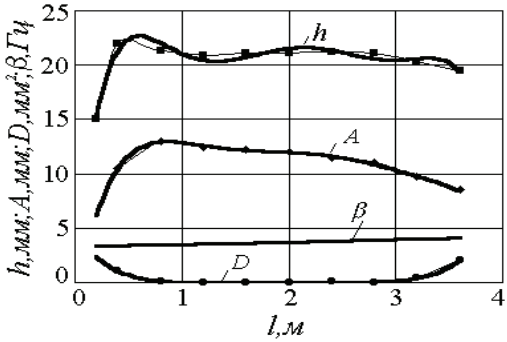

Рис.2. Изменение подачи (h), амплитуды (A) и частоты (β) колебаний каретки, дисперсии разброса подач (D) по длине прокатываемой гильзы

Косвенным подтверждением изменения положения (отставания) подвижных масс и вмешательством оператора стана в восстановление ее положения относительно каретки могут служить результаты экспериментальных исследований, полученные авторами работы при прокатке труб диаметром 8"со стенкой 8мм (8"х8), приведенные на рис.3.

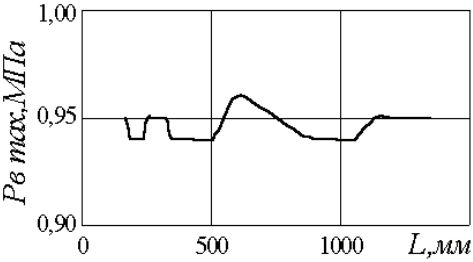

Рис.3 – Изменение максимального давления воздуха в пневмоприводе по длине гильзы

На рисунке представлена кривая изменения максимального давления воздуха в пневмоцилиндре по длине гильзы. Фиксировался только установившийся режим прокатки. Среднее число оборотов валков при прокатке составляло n=73,4об/мин; средняя подача h= 17,9мм/об; начальное давление воздуха в крайнем переднем положении подвижных масс $p_в$=0,42МПа. Давление воздуха при максимальном откате подвижных масс $p_{в\ max}$=0,94МПа; степень сжатия воздуха λ=2,24. Можно заметить, что давление воздуха в процессе прокатки гильзы нестабильно и периодически изменяется в большую сторону от начального значения. Увеличение давления воздуха можно объяснить только за счет изменения положения подвижных масс, что влечет за собой уменьшение объема воздушной камеры пневмопривода и увеличение степени сжатия воздуха. Восстановление исходного значения давления осуществляется оператором стана за счет стравливания воздуха в атмосферу (более кру-

тые участки кривой) или за счет уменьшения скорости перемещения каретки. Если в первом случае подвижные массы продолжают отставать от передней стенки буксы, то во втором случае восстанавливается нормальный режим работы пилигримового стана.

Приведенные на рис.3 результаты исследования позволяют предположить, что изменение положения подвижных масс может происходить по всей длине гильзы. Причем это положение является случайной величиной, зависящей от условий прокатки и вмешательства оператора в работу пильгерстана. Вмешательство оператора в работу пильгерстана вызывает цепочку возмущений, приводящих к изменению работы практически всех систем стана. Оператор, пытаясь уменьшить скорость встречи гильзы с валками, может стравить воздух из камеры пневмопривода, уменьшив тем самым осевой подпор на гильзу при прокатке. Уменьшение давления воздуха вызывает увеличение отката подвижных масс по инерции, что восстанавливает давление воздуха за счет увеличения степени сжатия воздуха в пневмоприводе. Увеличение степени сжатия воздуха, увеличивает жесткость пневмопривода, вызывая изменение скорости перемещения каретки, что влияет на стабильность подачи [1]. Во вторых, увеличение степени сжатия воздуха приводит к увеличению скорости подвижных масс при разгоне и изменению условий гидро и пневмоторможения, что, в конечном итоге, может привести к отставанию пильгерголовки и увеличивает амплитуду колебаний каретки. Отставание пильгерголовки в следующем цикле приводит к увеличению скорости встречи гильзы с валками и изменению геометрии гильзы, что также способствует отставанию пильгерголовки. Увеличение амплитуды колебаний каретки увеличивает разброс подач.

Следует заметить, что на действующих пилигримовых станах не используется система синхронизации «аппарат–валки» из–за отсутствия надежно работающих датчиков положения подвижных масс. Кроме того, система синхронизации «аппарат–валки» не может поддерживать заданное положение подвижных масс при их отставании от передней стенки буксы, например, из–за изменения диаметра гильзы или стравливания воздуха из пневмопривода оператором стана. Отставание подвижных масс от передней стенки буксы по алгоритму работы системы синхронизации должно устраняться увеличением давления воздуха в пневмоприводе. Повышение давления воздуха, как показано выше, увеличивает скорость встречи гильзы с валками и способствует увеличению отставания подвижных масс.

Явление дрейфа подвижных масс и связанные с ним процессы в пневмо–гидромеханической и гидромеханической системах могут вызывать нестабильность подачи не только в гидромеханических, но и в электромеханических механизмах подачи. В электромеханических (винтовых) механизмах подачи переменное положение подвижных масс может вызывать переменные нагрузки из–за изменения жесткости звена (пневмопри-

вода), передающего энергию от привода валков к приводу механизма подачи. Это следует учитывать при расчете привода вращения винта и подборе давления в гидроцилиндре хода вперед для предотвращения раскрытия зазоров в винтовой паре.

Сложившаяся ситуация, по нашему мнению, требует комплексного управления работой систем пильгерстана, в котором основную роль должно играть изменение скорости каретки в зависимости от положения подвижных масс, а вспомогательную – изменение давления воздуха, в основном для уменьшения осевого подпора.

Заключение

Установлено, что при прокатке переднего и заднего концов гильзы на пилигримовом стане существуют краевые участки с величиной неравномерности (дисперсии) подачи гильзы в валки, значительно превышающей среднее по длине гильзы значение. Длина этих участков в 4–6 раз больше длины, на которой осуществляются операции с ручным управлением работы систем стана – «обкатка пильгерголовки» и «докатка пильгерголовки». Этот факт установлен впервые. Основной причиной, вызывающей повышенный разброс подач, может являться изменение положения (дрейф) подвижных масс подающего аппарата.

Установлено, что в процессе прокатки гильзы происходит увеличение максимального давления воздуха в пневмоприводе. Увеличение давления воздуха можно объяснить только изменением положения подвижных масс, вызывающим уменьшение объема воздушной камеры пневмопривода и увеличение степени сжатия воздуха. Восстановление исходного значения давления осуществляется оператором стана за счет стравливания воздуха в атмосферу или за счет уменьшения скорости перемещения каретки. Если в первом случае подвижные массы продолжают отставать от передней стенки буксы, то во втором случае восстанавливается нормальный режим работы пилигримового стана.

Изменение положения подвижных масс может происходить по всей длине гильзы, причем это положение является случайной величиной, зависящей от условий прокатки и вмешательства оператора в работу пильгерстана. Дрейф подвижных масс и вмешательство оператора в работу пильгерстана вызывают цепочку возмущений, приводящую к изменению работы практически всех систем стана, что является причиной неравномерности подачи.

Изменение положения подвижных масс подающего аппарата относительно каретки и сопутствующие ему явления (изменение давления воздуха в пневмоцилиндре подающего аппарата, изменение средней скорости каретки, изменение начальной скорости подвижных масс при торможении, изменение условий гидро и пневмоторможения) требует создания отдельной системы синхронизации «валки – подающий аппарат – механизм подачи». Разработка такой системы невозможна без детального изучения механизма развития процесса, вызывающего неравномерность подачи.

Управление скоростью перемещения каретки от положения подвижных масс может стать новой концепцией управления механизмами пилигримового стана.

1. *Большаков В.И., Листопадов И.Б.* Особенности переходных процессов в электрогидромеханической системе периодического действия // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.– Сб. трудов.– Вып.10. – К.: Наукова думка, 2005.– С.307–312.
2. *Оборудование* цехов с пилигримовыми трубопрокатными установками / С.Н.Кожевников, А.В.Праздников, А.М.Иоффе и др. – М.: Металлургия, 1974. – 256с.
3. *Кожевников С.Н., Праздников А.В.* Экспериментальное исследование подающего аппарата с гидравлическим торможением // Изв. вузов. Чер. металлургия.– № 12.– 1959. – С.179–188.
4. *Листопадов И.Б.* Анализ причин нестабильной подачи металла в валки пилигримового стана // VIII Всесоюзная молодежная научно–техническая конференция «Научно–технический прогресс в металлургии и металловедении черных металлов». Тезисы докладов. Тула. – 1974.– С.32–33.
5. *Виноградов А.Г.* Трубное производство. – М.: Металлургия, 1981.– С.83–84.
6. *Листопадов И.Б.* Исследование динамики и модернизация гидравлических механизмов подачи пилигримовых станов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Днепропетровск. – 1978.– 20с.

Статья рекомендована к печати
докт.техн.наук, профессором С.М.Жучковым