

Сведения об авторах

Ю.Б.БЕЛЯЕВ, Ю.В.ОРЛОВСКИЙ

Беляев Юрий Борисович - известный специалист в области автоматики, методов и устройств метрологического обеспечения измерения силовых и деформационных параметров оборудования и АСУ ТП прокатки металла; создатель десятков конструкций мембранных гидрокапсул и калибраторов, в течение тридцати лет – неизменный руководитель и непосредственный участник работ по их внедрению на отечественных и зарубежных прокатных станах, автор 46 научных трудов и изобретений; доктор технических наук;

Орловский Юрий Владимирович - известный специалист в области специальной электрометаллургии, создатель и разработчик ряда новых направлений электрометаллургического и литейного производства, автор десятков научных трудов и изобретений в области металлургии и средств автоматизации металлургических процессов, кандидат технических наук.

МЕМБРАННЫЕ ГИДРОКАПСУЛЫ В ПРИБОРАХ И ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

**Киев
ГНПП «АИСТ»
2002**

УДК: 681. 521. 34 + 681. 532. 62

Публикуется на основании решения учёного совета НПК «Киевский институт автоматики», протокол № 6 от 24 сентября 2002 г.

Рецензенты: академик НАНУ д-р техн. наук Б.Б. Тимофеев
д-р техн. наук И.Н. Богаенко

Беляев Ю.Б., Орловский Ю.В.

Мембранные гидрокапсулы в приборах и исполнительных механизмах автоматизированных систем управления
– К.: ГНПП «АИСТ», 2002. – 72 с.

ISBN 966-95184-8-2

В монографии изложены принципы действия и расчёта параметров силоизмерительных мембранных и комбинированных исполнительных механизмов («гидрокапсул»). Рассмотрена их работа в системах управления гидравлическими нажимными устройствами (СУ ГНУ) прецизионного позиционирования раствора валков системами автоматического регулирования толщины (САРТ) при прокатке полос и листов. Приведены варианты конструкций коротко- и длинноходовых мембранных гидрокапсул, результаты их применения в составе градуировочных устройств – калибраторов сил и деформаций в различных клетях станов горячей и холодной прокатки металла. Даны примеры использования мембранных гидрокапсул в качестве прецизионных силоизмерительных и позиционирующих устройств как в металлургическом производстве, пресовом оборудовании, так и в других отраслях промышленности.

© Беляев Ю.Б.
Орловский Ю.В.
2002

ISBN 966-95184-8-2

21. *Беляев Ю.Б.* Градуировочные устройства для клетей автоматизированных прокатных станов // СТАЛЬ.- 1981.- № 7.- С. 55.

22. *Беляев Ю.Б.* Опыт внедрения силовоспроизводящих градуировочных устройств на прокатных станах // М.: ЦНИИТЭИТяжМаш, Вып. 5.- 1983.- С. 16-19.

23. *Беляев Ю.Б., Холодов А.А., Шорохов Л.П.* Устройство силозадающее гидравлическое для градуировки и поверки мессдоз прокатных станов // Передовой производственный опыт и научно-технические достижения в тяжёлом, энергетическом и транспортном машиностроении, Металлургическое оборудование.- М.: ЦНИИТЭИТяжМаш.- Сер.9, Вып. 11.- 1989. - С. 1-6.

24. *Беляев Ю.Б., Виноградов С.А.* Оценка влияния трения в паре цилиндр-поршень на точность измерения усилий на прессе ДО-043 // Получение, исследование свойств и применение сверхтвёрдых материалов: Сб. науч. трудов / Институт сверхтвёрдых материалов НАН Украины.- Киев, 1984.- С. 10-12.

25. *Иевлев Н.Г., Грабовский Г.Г.* Математические модели и алгоритмы управления в АСУ ТП толстолистовых прокатных станов. Киев: Техника, 2001.- 248 с.

26. А.с. 1719121 А1 СССР Способ стабилизации толщины листа на реверсивном стане / Бигун Я.Ф., Грабовский Г.Г., Тищенко В.Ф., Переходченко В.А., Писаренко А.Я.; Бюл. 10.- 1992

27. АСУ листопрокатных станов: М.: Металлургия, 1994.- 336 с.

28. *Долженков Ф.Е., Коновалов Ю.В. и др.* Повышение качества толстых листов: М.- Металлургия.- 1984.- 248 с.

29. *Басков С.Н., Карандаев А.С., Осипов О.И.* Энергосиловые параметры приводов и система профилированной прокатки слябов стана 2800. // Приводная техника: М.- 1999: №1/2.- С. 21-24.

30. *Дегнер М., Франк А., Меснер К.-Л., Мюллер У., Тиман Г.* Контроль и измерение геометрических параметров при горячей прокатке полос // Чёрные металлы, Прокатное производство.- 1999, Октябрь.- С. 36-43.

Методические рекомендации по проектированию регулируемых фундаментов под тяжёлое высокоточное технологическое оборудование./ НИИСК Госстроя СССР.- Киев, 1988,- 20 с.

11. *Патент* 48357 України. Спосіб стабілізації товщини листа на реверсивних станах гарячої прокатки / Беляев Ю.Б., Грабовський Г.Г., Орловський Ю.В., Белобров Ю.Н., Беляева А.Ю. - Бюл.8 - 2002

12. *Патент* 48358 України. Пристрій стабілізації товщини листа на реверсивних станах гарячої прокатки / Беляев Ю.Б., Грабовський Г.Г., Орловський Ю.В., Белобров Ю.Н., Беляева А.Ю. - Бюл.8 - 2002

13. *Патент* 45025А України. Виконавчий механізм гідравлічного натискного пристрою кліті прокатного стану / Беляев Ю.Б., Грабовський Г.Г., Орловський Ю.В., Белобров Ю.Н., Беляева А.Ю. - Бюл. 3. - 2002

14. *Исаченков Е.И.* Штамповка резиной и жидкостью. – М.: Машиностроение, 1867.- 387 с.

15. *Беляев Ю.Б., Медведенко Н.Ф.* Расчёт мембраны измерительного гидродомкрата // Известия ВУЗов: М.: Машиностроение. – 1982, № 5. - с. 127-131.

16. *Беляев Ю.Б.* Новые технологии и средства метрологического обеспечения измерения сил и деформаций в оборудовании прокатки листового металла // Аэрокосмический комплекс: конверсия и технологии: Науч.-тех. Сб. / Житомирский инженерно-технологический институт.- Житомир; 1998.- С. 122-124.

17. *Беляев Ю.Б.* Принципы расчёта и опыт создания гидравлических мембранных измерителей больших сил // Прогрессивные методы проектирования современных машин, их элементов и систем: Науч.-тех. Сб. / НТО МАШПРОМ.- Горький, 1986.- С. 150-151.

18. Беспоршневое гидронажимное устройство УБСГ-7537 // Автоматизация-89 / автоматизация в промышленной сфере.- М.: НПО Черметавтоматика.- 1989.- С.1-2.

19. *Хлебников И.Н., Шишкинский В.И., Плахтин В.Д.* Измеритель осевых нагрузок валков прокатной клетки // СТАЛЬ.- 2000.- №8.- С. 36-37.

20. *А.с. 1680398 СССР.* Способ определения жесткости прокатной клетки / Беляев Ю.Б., Рубан Н.С., Голован Э.В. и др. - Бюл. 36.- 1991

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Введение.....	5
Глава 1. Гидрокапсулы с мембранными элементами как исполнительные механизмы силового позиционирования	8
1.1 Мембранные элементы гидрокапсул	10
1.2 Варианты конструкций мембранных гидрокапсул	17
Глава 2. Калибраторы сил и деформаций с мембранными гидрокапсулами	23
2.1 Методы и средства метрологического обеспечения достоверности измерения усилий прокатки металла и упругих характеристик клетей прокатных станов.....	23
2.2 Примеры применения мембранных гидрокапсул в составе калибраторов сил и деформаций	29
Глава 3. Мембранные гидрокапсулы силового и позиционного регулирования процесса автоматизированной прокатки.....	35
3.1 Системы стабилизации толщины проката на толстолистовых станах.....	35
3.2 Особенности конструкции нажимных исполнительных механизмов с мембранными гидрокапсулами	41
3.3 Управление формой и шириной раскатов гидравлическим нажимным устройством с мембранными гидрокапсулами	44
Глава 4. Мембранные гидрокапсулы для применения в других отраслях промышленности.....	61
4.1 Прессовое оборудование.....	61
4.2 Выравнивание фундаментов под тяжёлым технологическим оборудованием и строениями.....	62
4.3 Другие примеры применения гидрокапсул в промышленности	64
Список использованной литературы	69

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кац С.М.* Балансирные динамометры для измерения вращающего момента.- М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962.- 144 с.
2. *Акобджанян А.С.* Гидравлические системы измерения усилий. – М.: Машиностроение, 1972.- 166 с.
3. *Асс В.А., Жукова Н.В., Антипов Е.Ф.* Детали и узлы авиационных приборов и их расчет. – М.: Машиностроение, 1966.- 416 с.
4. *Андреева Л.Е., Богданова Ю.А.* Методы проектирования мембранных упругих элементов // ТС-6 «Приборы и устройства для контроля и регулирования технологических процессов». - М.: ЦНИИТЭИПриборостроения, средств автоматизации и систем управления, 1972.- 37 с.
5. *Серенсен М.И. и др.* Несущая способность и расчет деталей машин на прочность. – М.: Машиностроение, 1975.- 488 с.
6. *Один Л.И.* Исполнительные механизмы систем автоматического регулирования толщины, профиля и формы полосы для оистовых прокатных станов.// Автоматизация производственных процессов.- Киев.: НПК «Киевский институт автоматизации».- 1996.- №1.- С. 42-48.
7. *А.с. 863032 СССР.* Гидравлический исполнительный механизм для прокатной клетки. / Шишкинский В.И., Алексеев В.С., Котомин М.В., Кулиш В.Г., Чашник Т.И., Окин Ю.Г.. - Бюл. №34. – 1981.
8. *Тимошенко Э.В., Самецкий А.А.* Синтез систем управления параметрами полос при холодной прокатке. – Киев.: НПК «КИА», 1999.- 263 с.
9. *А.с. 1659150 СССР.* Устройство для градуировки средств измерения усилий прокатки металла в клетях листового стана. / Беляев Ю.Б. - Бюл. 24. – 1991.
10. *А.с. 1731319 СССР.* Способ градуировки датчика усилий прокатки металла в клетки стана и устройство для его осуществления. / Беляев Ю.Б., Чаленко Н.С., Антюхов С.В., Виноградов М.А., Ржонцов Н.Н. – Бюл. 17.- 1992.

Ниже приведен пример применения гидрокапсул в качестве подвесных динамометров - металлургических весов.

Весы (рис. 4.6.) предназначены для контроля расходимой массы жидкого металла при его разливке в изложницы из ковша, подвешенного на крюке мостового крана, в условиях металлургических цехов и литейных участков предприятий.

Весы включают блок силовой (БС), подвешиваемый на крюк мостового крана, и блок измерительный электронный (БИ), установленный в удобном для рабочего - оператора месте.

БС содержит реверсор с верхней петлёй под крюк мостового крана и нижним крюком для взвешиваемого ковша с металлом. В реверсоре установлена мембранная гидрокапсула с датчиком давления жидкости.

БИ защищён корпусом, в котором размещены электронные узлы, органы настройки, тестирования и диагностики, цифровой индикатор и кнопка обнуления. БИ может быть подключён кабелем к цеховой сети переменного тока или к аккумулятору напряжением 36 или 24 В.

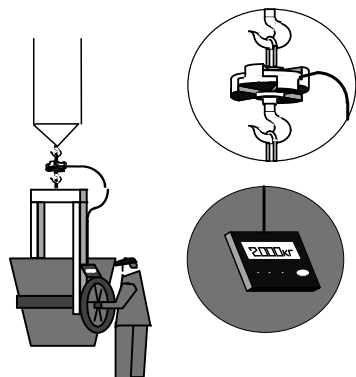


Рис.4.6.

ВВЕДЕНИЕ

Жёсткие требования, предъявляемые к геометрическим размерам листовой металлопродукции в современных условиях её производства на прокатных станах, могут выполняться только с помощью систем автоматического регулирования (САР) геометрических размеров (толщины, ширины, профиля) листов автономно, либо в составе АСУ ТП прокатки металла.

Для обеспечения эффективной работы автоматизируемого прокатного стана его оборудование реконструируется и модернизируется путём либо дополнительного оснащения клеток, содержащих электромеханические (винтовые) нажимные устройства (ЭМНУ), более точными гидравлическими нажимными устройствами (ГНУ), либо полной заменой ЭМНУ на ГНУ.

При этом, например, в САР толщины используются системы измерения усилий прокатки металла (СИУП) с первичными преобразователями (датчиками) - «мессдозами».

Чаще всего исполнительные механизмы (ИМ) ГНУ комбинируют с ЭМНУ и конструируют в традиционном исполнении – в виде длинноходовых уплотнённых цилиндроплунжерных пар (ЦИМ).

Как правило, установка ЦИМ в силовую цепь реконструируемых клеток затруднена ввиду отсутствия в стане клетки необходимого свободного пространства, особенно по высоте.

Поэтому возникла актуальная потребность в разработке новых оригинальных, компактных по габаритам конструкций короткоходовых ИМ ГНУ, устанавливаемых в силовую цепь клетки отдельно или с ЭМНУ и/или с СИУП.

С 1971 года в Киевском институте автоматики были организованы НИОКР, изготовление и внедрение на ряде прокатных станов СССР и за рубежом гаммы компактных короткоходовых гидравлических ИМ для измерения и воспроизведения больших сил – **мембранных «гидрокапсул» (МГК)** нескольких модификаций и типоразмеров. Они имеют небольшую высоту (130 - 180 мм), входят в состав градуировочных силозадающих гидравлических устройств УСГ-Q/n (калибраторов сил гидравлических – КСГ), предназначенных для метрологического обеспечения измерительной системы «клеть – мессдозы - СИУП» прямым методом силового распора валков клетей.

МГК также применяют в оборудовании (прессах) по изготовлению сверхтвёрдых материалов (искусственных алмазов).

Калибраторами сил с МГК, оснащёнными датчиками линейных перемещений, также определяются реальные упругие характеристики («пружина» или «модуль») клетей прокатных станов: $M = Q/a$, где Q , тс – образцовая сила распора валков гидрокапсулами; a , мм – изменение межвалкового зазора в нескольких точках по длине бочки валков при силовой нагрузке, развиваемой мембранными гидрокапсулами

Позже в Московском НИИАЧЕРМЕТ были начаты работы по созданию «беспоршневых» гидравлических исполнительных механизмов (БГИМ) с торовыми элементами, которые с 1990 года в составе ГНУ САРТ успешно эксплуатируются на станах 900 и 2000 металлургических заводов соответственно ЭЛЕКТРОСТАЛЬ и СЕВЕРСТАЛЬ (Россия).

Конструкции МГК и БГИМ реализуют преимущества перед ЦИМ за счёт упругих мембранных или торовых элементов.

Однако по сравнению с торовыми мембранные элементы обладают рядом существенных достоинств: лучшими метрологическими свойствами, меньшей высотой, ремонтпригодно-

Сигналы датчика давления жидкости передаются по кабелям в программируемый электронный блок, индицирующий на цифровом табло показания от нагрузки, производимой каждой колёсной осью, и общего суммарного веса автомобиля.

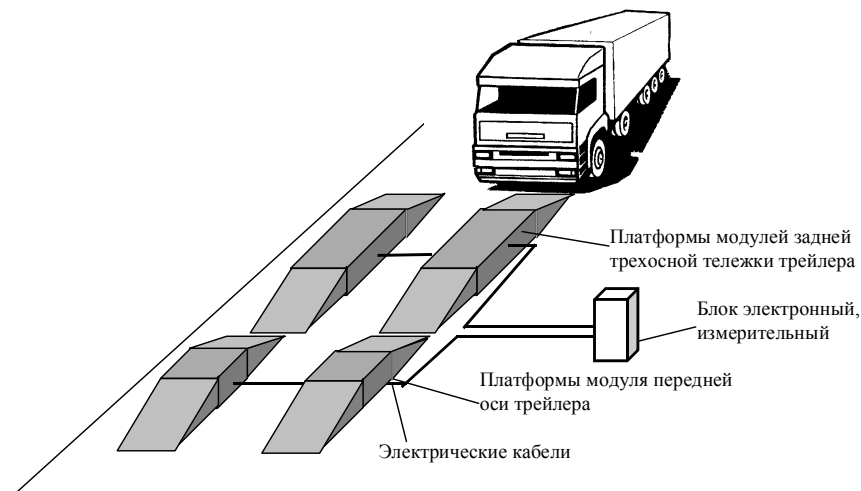


Рис. 4.5.

Основные технические характеристики ГУС:

Предел контроля силовой нагрузки:

- каждой колёсной осью - 20 тс;
- общий вес автопоезда - 60 тс.

Пределы допускаемой приведенной погрешности измерения - $\pm (0,5 - 1,5) \%$.

Размеры (без пандусов): ГУС-1 - 3500x400x80 мм;
подкладной платформы ГУС-2 - 600x600x80 мм.

Весьма интересным представляется применение гидрокапсул для взвешивания грузов в условиях металлургических и литейных цехов, где высокая температура и запыленность не обеспечивают надежной работы традиционных электронных взвешивающих устройств.

Последняя из ряда капсул заглушена датчиком давления жидкости, связанным кабелем с программируемым электронным информационным блоком (рис. 4.4). Балку можно перевозить и устанавливать прямо на дороге или установить стационарно с заглублением в канавке, выполненной на дороге поперёк движения автомобиля, либо изготовить в виде шлагбаума с присоединёнными въездными - выездными пандусами.



Рис. 4.4.

Конструкция ГУС-2 (рис. 4.5) представляет собой установленные на площадке, грунте, дорожном покрытии поперёк движения автомобиля потребное количество пар невысоких платформ с въездными и выездными пандусами, соответствующими ширине колёс автомобиля. Внутри каждой платформы расположена группа сообщающихся между собой МГК, давление жидкости в которых преобразуются датчиком давления в стандартный сигнал.

стью, технологической простотой и меньшей стоимостью изготовления.

Всё это создаёт предпосылки для успешного применения короткоходовых МГК, а также их комбинации с длинноходовыми ЦИМ в ГНУ САР клетей прокатных станов и АСУ ТП прокатки металла. Кроме того, МГК могут быть успешно применены в силоизмерительной и позиционирующей технике других отраслей промышленности.

В ГНПП «АИСТ» НПК «Киевский институт автоматики» ведутся работы по применению мембранных гидрокапсул в различных видах устройств, например, в ГНУ клетей прокатных станов, системах взвешивания автомобилей, крановых устройствах контроля массы ковшей с жидким металлом и др.

Характерными для МГК качествами являются их нечувствительность к перекосам и смещениям в пределах конструкции, способность создавать/воспринимать силовую нагрузку с прецизионным позиционированием (перемещениями в осевом направлении действия сил), отсутствие жёстких требований к местам установки в оборудовании.

Практически для любой заданной силовой нагрузки возможна разработка оптимальных по габаритам компактных короткоходовых и недорогих МГК. Их легко встроить в ограниченные пространства существующих и новых агрегатов, где необходимо контролировать усилия и регулировать в требуемых диапазонах перемещения и деформации объекта (оборудования), вызываемые действием заданных сил.

Настоящая монография посвящена описанию принципа действия, расчёта конструкций, условий работы компактных прецизионных силоизмерительных и позиционирующих короткоходовых мембранных гидрокапсул, их комбинаций с длинноходовыми исполнительными механизмами, а также перспективам их применения в промышленности.

Глава 1.

ГИДРОКАПСУЛЫ С МЕМБРАННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Со второй половины прошлого века гидравлические системы контроля сил средних и больших величин эффективно используются в испытательной технике измерения мощности, развиваемой двигателем или потребляемой механизмом, путём измерения на валу двигателя вращающего момента и в первую очередь – образующей его силы сжатия [1].

Они также нашли широкое применение в стационарных стендах для испытаний реактивных двигателей [2].

Основными узлами подобных силоизмерительных систем являются динамометры для измерения сил сжатия различных принципов действия и конструкций.

По ряду сравнительных характеристик наиболее надёжными, простыми и удобными в эксплуатации являются гидравлические динамометры, особенно те, в которых в качестве основных элементов используются плоские и круглые оболочки из металлических и неметаллических материалов – диафрагмы.

В авиационном приборостроении широкое применение получили преобразователи давления воздушной среды в перемещение стрелок циферблатов показывающих приборов с помощью упругих гофрированных мембран, мембранных коробок и сильфонов [3, 4].

Для уплотнения изменяющихся зазоров между разъёмными деталями «корпус – крышка» в паровых котлах и сосудах высокого давления в теплоэнергетическом машиностроении успешно используются металлические торовые оболочки в качестве упруго - деформируемых компенсаторов [5].

Следующим примером эффективного использования мембранных гидрокапсул оптимальных модификаций может служить создание на их основе устройств (автовесов типа: «балка» ГУС-1; подкладных ГУС-2; платформенных) для поосного и суммарного определения веса по давлению на грунт (дорогу, площадку и т.п.) автомобилей и автопоездов любой грузоподъёмности стационарно или при медленном движении.

Например, конструкция ГУС-1 (рис. 4.3, 4.4) представляет собой балку, в которой подложкой является нижний опорный швеллер, связанный через шарнир и гибкую перемычку с верхним швеллером. Между швеллерами симметрично относительно оси движения автомобиля размещены заполненные жидкостью МГК, трубками сообщающиеся между собой.

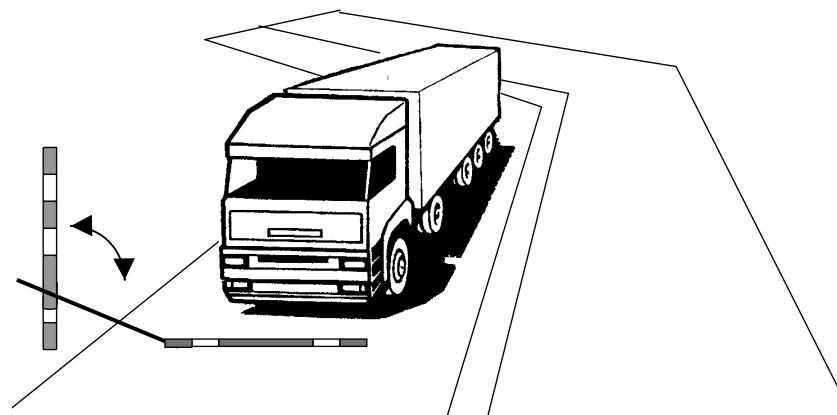


Рис. 4.3.

Теперь есть все основания применять в этих системах в качестве домкратов комбинированные гидрокапсулы МГК-Ц (см.рис.1.7).

4.3 Другие примеры применения гидрокапсул в промышленности

Для создания системы контроля веса жидких смесей в реакторах, например, ёмкостью $0,63 \text{ м}^3$, используемых на фармацевтических предприятиях (рис. 4.2), целесообразно применять мембранные гидрокапсулы МГК-1 (см. рис. 4.2) относительно небольшой высоты (50 мм) и грузоподъёмности (2 тс), с требуемой точностью измерения сил сжатия (0,5 %).

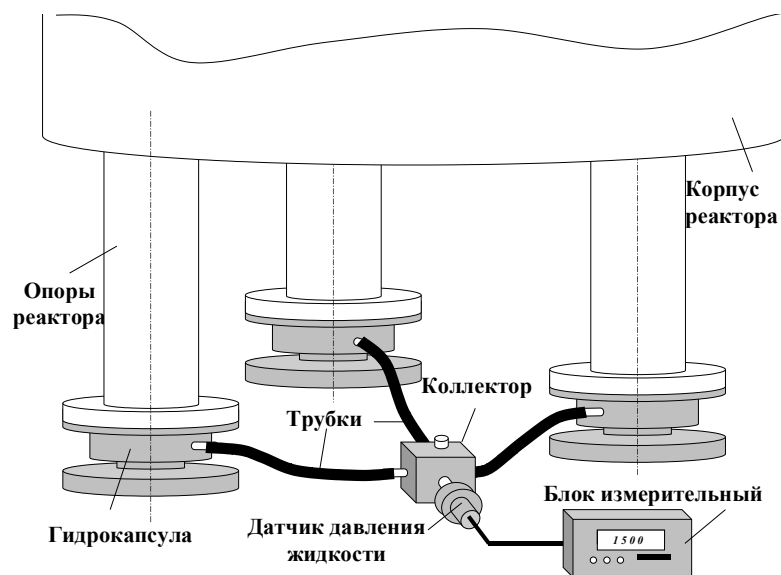


Рис.4.2.

В 70-х годах прошлого века возникла необходимость в решении актуальных задач автоматизации технологических процессов прокатки металла, создания нового, модернизации и реконструкции действующего металлургического оборудования.

Это, в свою очередь, потребовало активно начать разработки мощных быстродействующих гидравлических нажимных устройств (ГНУ) и систем управления, опираясь на предыдущий опыт создания силовых позиционирующих механизмов.

Особенности технологического процесса прокатки металла, высокие требования, предъявляемые к геометрическим параметрам продукции, системам автоматики и измерительной технике, специфика и индивидуальность конструкций клетей прокатных станов – всё это было заложено в основу создания нового типа устройств для локальных САР и АСУ ТП прокатки.

Как правило, эффективность работы систем существенным образом определяется метрологическими и скоростными параметрами входящих в них агрегатов. К ним относятся исполнительные механизмы, устройства воспроизведения и измерения больших сил, а также системы управления этими устройствами. Цель управления – позиционирование нажимными устройствами при регулировании межвалкового зазора, который обеспечивает требуемые геометрические размеры металлопроката.

В результате анализа различных вариантов исполнительных механизмов нажимных устройств с учётом отечественного и зарубежного опыта [1–8], в ГНПП «АИСТ» НПК «Киевский институт автоматики» синтезированы новые конструкции позиционирующих короткоходовых силоизмерительных механизмов ГНУ – мембранных «гидрокапсул» (МГК) [9, 10], а также их комбинаций с длинноходовыми цилиндро-плунжерными исполнительными механизмами ЦИМ [13].

Разработано несколько модификаций МГК гаммы типоразмеров и грузоподъёмности, опробованных в производственных

условиях и рекомендуемых [11–13] к более широкому использованию в оборудовании различных промышленных объектов.

1.1. Мембранные элементы гидрокапсул

Гидрокапсула с мембранными элементами может выполнять функции как измерения внешних сил сжатия, так и воспроизведения с измерением (при действии внутреннего давления жидкости от насосной установки с датчиком) сил распора объекта и позиционного регулирования его положения в направлении действия силовой нагрузки.

Основная схема расчёта однофазового мембранного элемента гидрокапсулы при его упругой деформации в направлении действия сил приведена на рисунках 1.1 - 1.2.

В зависимости от требуемых функций мембранные элементы гидрокапсул способны осуществлять:

- точное измерение **внешних сил сжатия** Q_c при минимальном осевом смещении (проседании) s жёсткого центра мембраны относительно её средней линии; причём полость гидрокапсулы предварительно заполняется жидкостью и заглушается датчиком давления или манометром;
- воспроизведение и измерение **сил распора объекта** Q_p под действием внутреннего давления p , изменяющегося с помощью подсоединённой к гидрокапсуле насосной установки; при этом жидкость подаётся в полость гидрокапсулы, отклоняя жёсткий центр мембраны от её средней линии на величину заданного суммарного **короткого хода** S ;
- регулирование объекта с **длинноходовой** установкой его положения и измерением сил сжатия или точный позиционный распор объекта гидрокапсулой как короткоходовым устройством при заданном ходе S , ограниченном размерами мембран

Подготовка объекта к выравниванию фундамента заключается в подведении в уровне технического подвала замкнутого распределительного пояса, воспринимающего нагрузку от веса конструкции, устройстве под ней домкратных проёмов и приспособлений санитарно-технических коммуникаций. Выравнивание обеспечивается разделением фундаментной (для зданий – подвальной) части на опорную и регулируемую составляющие с размещением в уровне разделительного шва домкратных проёмов, объединённых проходными каналами.

Регулируемые фундаменты проектируют на основе применения при выравнивании принципа «плавающей опоры», обеспечивающего синхронный подъём здания домкратами без перегрузок конструкции и основания. Такой принцип осуществляется домкратной системой без прекращения эксплуатации здания и отселения жильцов.

Устранение одностороннего крена регулируемого системы фундамента под оборудованием осуществляют методом «плавающей опоры» путём поворота регулируемой части фундамента вместе с жёстко установленным оборудованием относительно крайнего ряда домкратов.

Устранение диагонального (двухстороннего) крена осуществляют последовательным поворотом регулируемой части фундамента вместе с жёстко установленным оборудованием соответственно вокруг одного, а затем другого, перпендикулярно расположенного, ряда домкратов.

Метод «плавающей опоры» надёжно реализуется электрогидравлической домкратной системой.

Ранее в системе регулирования и выравнивания фундамента использовали ряд специальных конструкций плоских гидравлических домкратов - цилиндров традиционного исполнения грузоподъёмностью каждого 200 тонн и более (при давлении жидкости 12 МПа), рабочим ходом уплотнённого плунжера до 100 – 150 мм.

Силозадающее оборудование (испытательные прессы) большой грузоподъёмности, например, 2000 тс и высокой точности измерения, выполняющие функцию образцовых машин для настройки, градуирования, метрологической аттестации и поверки мессдоз при выпуске СИУП из производства, также оснащаются мембранными гидрокапсулами (рис. 4.1).

4.2 Выравнивание фундаментов под тяжёлым технологическим оборудованием и строениями

Фундаменты крупногабаритного технологического оборудования, агрегатов, сооружений, зданий, других промышленных и бытовых строительных объектов при эксплуатации могут оседать. Причиной этого является неравномерная деформация оснований, вследствие нестабильности грунта или аварийной обстановки, вызванной погодными и сезонными явлениями, погрешностями монтажа, другими причинами [31].

Отечественные и зарубежные строительные организации эффективно решают проблему устранения осадки фундаментов путём корректировки их горизонтального положения без перегрузок основания конструкции.

Реализован экономичный способ, при котором объект дополнительно оснащается автоматически или вручную управляемой системой с «плавающей опорой». Эта система состоит из компактных большегрузных гидродомкратов, которые устанавливаются под фундамент в специальных нишах.

Выравнивание фундамента осуществляется дистанционно системой, регулирующей усилия и перемещения домкратов, в зависимости от реальной прочности конструкции.

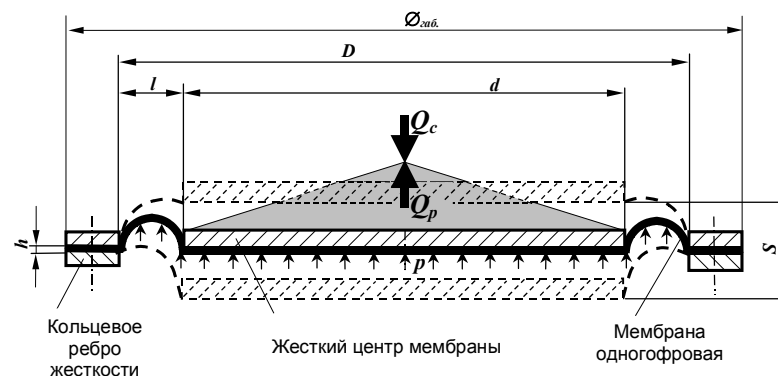


Рис.1.1. Схема расчета однофрового мембранного элемента

гидрокапсулы и состоит из отклонений жёстких центров от средней линии вверх/вниз: $S = S_e + S_n$. (1)

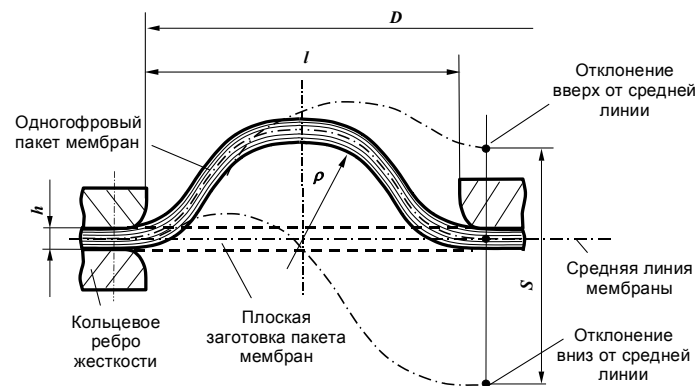


Рис. 1.2. Параметры однофрового пакета мембран

Эффективная площадь мембраны F вычисляется [1 - 4] по известной формуле: $F = \pi/12(D^2 + Dd + d^2)$, (2) где: D — диаметр контура наружного заземления мембраны (в корпусе одномембранной гидрокапсулы или в кольцевом ребре жёсткости двухмембранной гидрокапсулы); d — диаметр контура внутреннего заземления мембраны (в каждом жёстком центре).

Для увеличения податливости гидрокапсулы при реализации заданного хода S жёсткого центра под силовой нагрузкой мембрана выполнена в виде многослойного пакета тонких оболочек суммарной толщины h [9, 10, 15, 16, 17].

Толщина h мембранного элемента с заданными метрологическими, прочностными, надёжностными и эксплуатационными параметрами рассчитывается по формулам теории сопротивления материалов [4, 5, 14, 15], исходя из оптимальных геометрических размеров, условий работы и с учётом применяемых материалов. Также важно учитывать ресурсные показатели силовых значений и размаха знакопеременных осевых *смещений* жёсткого центра мембраны относительно её средней линии ($\pm s$) или его заданного суммарного хода S .

При выборе оптимальной толщины h мембраны, особенно для выполнения функции точного задания и измерения больших сил с прецизионным регулированием положения при *максимальном* ходе её жёсткого центра, находится компромиссное решение, удовлетворяющее, на первый взгляд, взаимопrotivоречащим требованиям.

С одной стороны, безусловно необходимо обеспечить прочность мембраны в пределах допустимого рабочего напряжения $\sigma < [\sigma_m]$ при действии максимального (относительно номинального p) давления жидкости $p_{\max} > p$. Здесь $[\sigma_m]$ - предел текучести материала мембраны.

Глава 4

МЕМБРАННЫЕ ГИДРОКАПСУЛЫ для применения в других отраслях промышленности

4.1. Прессовое оборудование

Одним из примеров эффективного использования мембранных гидрокапсул в комплекте с датчиками давления и насосными установками сверхвысокого давления жидкости является оснащение ими специализированных технологических прессов ДО-043 по производству сверхтвёрдых материалов и искусственных алмазов [24]. С помощью МГК точно воспроизводятся силы распора (1500 тонн) оборудования и сжатия прессформы. Ход жёсткого центра мембраны до 5 мм, давление жидкости в гидрокапсуле 150 МПа.

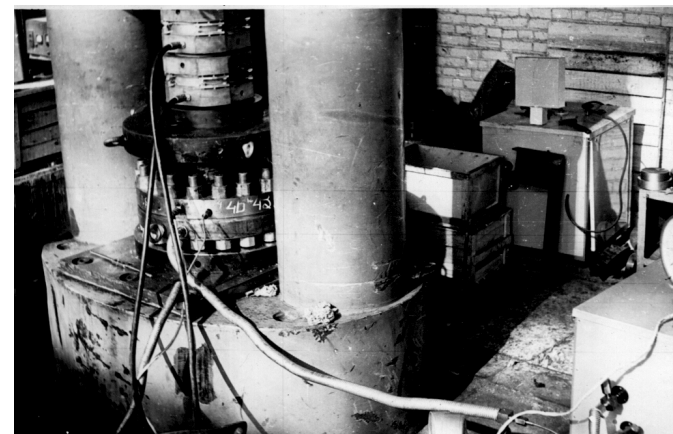


Рис. 4.1. Настройка СИУП мембранной гидрокапсулой МГК-2 на прессе 2000 тс.

Расчет экономического эффекта от внедрения Системы может производиться по признаку увеличения выхода годного за счёт более эффективного и точного управления технологическим процессом прокатки в черновой клети стана 3600 с целью получения толстых плит и раскатов прямоугольной формы в плане, оптимальной ширины, профиля и толщины за счёт перефабрикации исходных заготовок, сокращения боковой и торцевой обрезки, уменьшения отходов металла в скрап, что позволит уменьшить массу подлежащего прокатке металла или увеличить выход годного и производительность стана.

На сегодняшний день из-за малоэффективного управления получением раскатов прямоугольной формы (в плане) потери металла только при их обрезки достигают 5 – 7 % [28].

Внедрение СУФ ГНУ-МГК позволит сократить потери металла на 6 - 8%, существенно уменьшив затраты на передел одной тонны проката с учётом обрезки раскатов и перефабрикации заготовок.

Подобные решения могут быть использованы и на других металлургических объектах, например, в «старых» клетях черновой группы при реконструкции стана 800 прокатки тонких листов Новосибирского металлургического завода.

С учётом отсутствия в этих клетях достаточного пространства по высоте, для установки традиционных цилиндров ГНУ в данном случае целесообразно использовать (см. раздел 1) МГК-1 с ходом 5 мм, высотой 150 мм, диаметром 600 мм) в сочетании с гидромультипликаторами, подключёнными к насосным установкам (см. раздел 2).

Для позиционного регулирования межвалкового зазора клетей с помощью ГНУ усилиями 500 – 1000 тс питание МГК-1 жидкостью сверхвысокого давления (50 – 100 МПа) реализуется через гидромультипликаторы, подключённые к насосным установкам значительно меньшего давления (10 – 20 МПа).

С другой стороны, для повышения точности измерения сил необходимо обеспечить минимальную жёсткость (максимальную податливость) мембраны при заданных знакопеременных осевых *смещениях* s или коротком *ходе* S её жёсткого центра.

Материал мембраны должен также обладать высокой циклической устойчивостью и усталостной выносливостью.

Следует учитывать, также, влияние на метрологические свойства мембраны возможных перекосов и радиальных смещений жёсткого центра под действием сил (рис. 1.3).

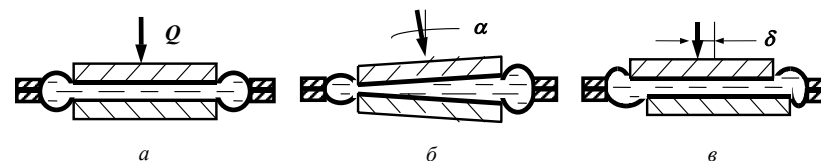


Рис.1.3. Схемы возможного приложения силовой нагрузки к гидрокапсуле.

Для удовлетворения этого комплекса требований мембранный элемент расчётной толщины изготовлен в виде плотного пакета из нескольких, как можно более тонких, мембран (см. рис. 1.2) из листовых металлических, неметаллических, композитных материалов или их сочетаний.

Гофр (радиусом кривизны ρ) мембраны рационально производить в гидрокапсуле выдавливанием плоской заготовки жидкостью под испытательным давлением $p_u > p_{max}$, обеспечивающим упруго-пластическое деформирование материала мембраны при условии $[\sigma_m] > \sigma_z \ll [\sigma_s]$.

Здесь: $p_{max} > p$ – максимально допустимое давление; p – номинальное рабочее давление; σ_z – напряжение гофрирования; $[\sigma_s]$ – предел прочности материала мембраны.

Рассмотрим режимы работы мембранного элемента.

1. Режим «СЖАТИЕ» (гидравлическая мессдоза) - измерение приложенной к жёсткому центру мембраны внешней силы сжатия Q_c при минимальном осевом смещении (проседании) s её жёсткого центра.

При этом, например, одномембранная гидрокапсула должна быть предварительно заполнена жидкостью и заглушена мано-метром (датчиком).

Под действием силы сжатия Q_c жёсткий центр мембраны отклоняется вниз (проседает) на величину минимального смещения s , значительно меньшего допустимого общего хода S мембраны, а внутреннее давление, фиксируемое манометром (датчиком), увеличивается пропорционально приложенной силе:

$$p = Q_c / F. \quad (3)$$

Проседание мембраны вызвано незначительным уменьшением замкнутого объёма жидкости V ввиду упругой деформации (выпучивания) гофра мембраны и сжатия нерастворённого в жидкости воздуха. При обеспечении условий для максимального удаления воздуха из жидкости, а также при оптимальном выборе типа жидкости, конструкции и материала мембраны, изменение объёма и проседание - минимальны.

Метрологические исследования одномембранных гидрокапсул ($Q_c = 2000$ тс, $p = 1000$ кгс/см², $F = 2000$ см³, $V = 0,5$ л, $l = 5$ мм, $h = 3$ мм) в режиме “сжатие” показали, что смещение (проседание) жёсткого центра $s \leq (0,2 - 0,4)$ мм, зависимость $p(Q_c)$ – пропорциональна F , пределы основной приведенной погрешности измерения сил сжатия $\gamma \leq \pm 0,2$ %.

нижней группы валков.

При прохождении заготовки между валками в каждом пропуске изменяются силовые воздействия, компенсируемые изменением давления рабочей жидкости в гидрокапсулах. Оператор-вальцовщик с пульта управления черновой клетью имеет возможность вручную корректировать позиции ГНУ (по показаниям четырёх датчиков положения) и величину усилий прокатки по стойкам станины клетки (по показаниям двух датчиков давления).

Показателями качества Системы являются: точность реализации функций; эффективность управления геометрическими параметрами раскатов; регулирование профиля в свету зазора между валками и усилий прокатки металла; гарантийный и полный сроки службы.

Точность реализации функций Системой определяется технологией прокатки, свойствами и параметрами горячих заготовок, состоянием электрического и механического оборудования клетки, качеством алгоритмов управления и программного обеспечения, линий связи, характеристиками устройств и приборов.

По предварительной оценке наряду с новыми техническими решениями Системы её экономические показатели привлекательнее по сравнению с зарубежными аналогами.

Например, на толстолистовом стане цеха №2 металлургического завода в г. Мидзусима, Япония, [28], где использована технология прокатки по принципу MAS – процесса производства раскатов в черновой клетке с помощью системы автоматического регулирования, выход годного увеличен с 80 до 93,8 %, а потери металла в обрезь снижены с 5,5 до 1 %.

На толстолистовом стане 2800 ОАО «НОСТА» (Орско-Халиловский металлургический комбинат, Россия) средний выход годной продукции не превышает 80,9 % [29].

давлению рабочей жидкости в полостях гидрокапсул.

Принцип действия МГК-2 основан на преобразовании изменения объёма рабочей жидкости в замкнутых, но податливых полостях капсул в осевое перемещение опорных поверхностей - жёстких центров мембран, что приводит к перемещениям верхней группы валков клетки в зависимости от изменения объёма жидкости. Давление жидкости в полостях капсул пропорционально силам, воздействующим на жёсткие центры мембран и стабилизировано в пределах осевых перемещений этих центров. Стабилизация обеспечивается постоянством эффективных площадей мембран в сочетании с их достаточной прочностью под действием высоких давлений рабочей жидкости ($250 - 320 \text{ кгс/см}^2$). Податливость мембран создает возможность перемещения их жёстких центров в пределах ($\pm 25 \text{ мм}$), т.е. суммарный рабочий ход каждой капсулы $S = 50 \text{ мм}$.

Управление жёсткостью клетки с помощью Системы осуществляется совмещением функции быстродействующего ГНУ со стабилизацией зазора между валками, измерением силовых воздействий при обжатии металла валками по показаниям датчиков давления в полостях МГК-2.

При касании валков движущейся горячей заготовкой происходит удар, давление жидкости в полостях капсул резко увеличивается, мембраны упруго деформируются, их жёсткие центры сходятся, высота гидрокапсул и жёсткость клетки уменьшаются, гася энергию удара.

При захвате заготовки валками в полости капсул сервоклапанами ЭПУ впрыскиваются порции жидкости, восстанавливая начальную высоту капсул, уменьшая, а затем мгновенно восстанавливая жёсткость клетки, т.е. Увеличивая и мгновенно восстанавливая номинальную конфигурацию межвалкового зазора относительно линии уровня прокатки

2. Режим «РАСПОР» - принудительное осевое смещение мембраны в пределах максимального хода S под действием давления жидкости p , вызывающего пропорциональную этому давлению силу распора: $Q_p = p \cdot F$. (4)

Этот режим применяется в основном при «тонком» силовом позиционировании объекта. В этом случае мембранная гидрокапсула работает как короткоходовой исполнительный механизм прецизионного позиционирования объекта, а через изменение давления жидкости - перемещающую его силу.

В мембранном элементе заданный ход S складывается из допускаемых осевых перемещений жёсткого центра вверх $S_e = 1/3 S$ или вниз $S_n = 2/3 S$ от средней линии («нейтрального» положения) мембраны.

Исследования мембранных гидрокапсул показали, что жёсткий центр перемещается в пределах заданного хода S , который ограничен расчётной длиной l гофра. В одномембранной гидрокапсуле $S_l \leq 0,2 l$, в двухмембранной - $S_2 \leq 0,4 l$. При этом характеристика $S(Q)$ линейна. Возможно увеличение хода до максимального значения ($S_l \leq 0,5 l$; $S_2 \leq l$), но при этом характеристика переходит в нелинейную область.

Для одномембранной гидрокапсулы, работающей в режиме «распор», получены результаты метрологических исследований аналогичные вышеприведенному режиму «сжатие».

Метрологические исследования двухмембранных гидрокапсул ($Q_p = 3000 \text{ тс}$, $p = 1000 \text{ кгс/см}^2$, $F = 3000 \text{ см}^2$, $V = 3 \text{ л}$, $l = 25 \text{ мм}$, $h = 5 \text{ мм}$) в режиме «распор» показали:

- при ходе $S = 8 \text{ мм}$ зависимость $p(Q_p)$ пропорциональна F , т.е. характеристика $S(Q)$ - линейная, пределы основной приведенной погрешности задания и измерения сил $\gamma \leq \pm 0,2 \%$;
- при увеличении хода S от 8 до 12 мм характеристика $S(Q)$ входит в нелинейную область, а $\gamma \leq \pm (0,2 - 0,5) \%$;
- при максимальном $S = 12 - 20 \text{ мм}$ $\gamma \leq \pm (0,5 - 1,5) \%$.

3. Режим «ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ».

Этот режим реализуется комбинацией короткоходовой мембранной гидрокапсулы с длинноходовым исполнительным механизмом типа «цилиндр - плунжер».

Исполнительным механизмом предварительно устанавливают объект в требуемое исходное положение с последующим позиционированием и измерением сил.

Возможны следующие варианты.

А. Предварительно заполненная жидкостью и заглушенная мембранная капсула выполняет роль «гидравлической опоры» длинноходового исполнительного механизма, отслеживая и компенсируя возможные перекосы и этим создавая благоприятные условия для относительно «**грубого**» позиционирования с измерением сил по давлению жидкости в полости цилиндра.

Б. Длинноходовой цилиндр «грубо» устанавливает объект в требуемое исходное положение, а подключённая к управляющей гидросистеме мембранная капсула выполняет роль короткоходового исполнительного и силоизмерительного механизма «**тонкого**» позиционирования объекта.

Вышеприведенные решения позволяют создавать компактные по габаритам, малочувствительные к угловым перекосам и радиальным смещениям исполнительные механизмы практически любой заданной грузоподъёмности Q и длины хода. Они могут иметь, как мембранную, так и комбинированную конструкцию и применяться как во вновь создаваемом, так и в реконструируемом оборудовании.

В зависимости от задач (измерение сил сжатия или их воспроизведение при незначительных смещениях жёстких центров мембран; распор объекта контролируемыми силами при малых или увеличенных перемещениях жёстких центров) разработаны силовые позиционирующие устройства с гидрокапсулами МГК типа «мембранная коробка» [16] (рис. 1.4 - 1.7)

Система, электрически соединённая с АСУ ТП, системой информационного сопровождения и учёта проката (СИСУП), пультом управления черновой клетью оператора - вальцовщика, управляет ГНУ и передаёт на верхний уровень сигналы о положениях МГК-2 и усилиях прокатки металла.

ГНУ, электрически связанное с Системой и гидравлически - с обеими МГК-2, ГНС и ЭПУ, управляет верхней группой валков, регулирует и стабилизирует зазор между валками.

Гидрокапсулы МГК-0,9/2 оснащены четырьмя датчиками положения (ДП-1 - ДП-4) и двумя датчиками давления (ДД-1, ДД-2), в качестве исполнительных механизмов ГНУ осуществляют как позиционирование верхней группы валков относительно нижних, регулирование и стабилизацию профиля межвалкового зазора и, следовательно - формы и ширины раската, так и для измерения усилий по левой и правой стойкам станины клетки и суммарного значения усилий прокатки.

Выбор конструкции МГК-2 для черновой клетки ТЛС 3600 обусловлен ограниченной высотой (255 мм) пространства мест установки между винтами и подушками верхнего опорного валка, а также требуемым рабочим ходом 50 мм, величиной значений усилий прокатки ($2 \times 2250 \text{ тс} = 4500 \text{ тс}$), заданной погрешностью измерения усилий $\gamma = \pm 1,5 \%$.

Электрогидравлическая группа ГНУ: ГНС высокого давления обеспечивает питание МГК-2 рабочей жидкостью.

ЭПУ по командам Системы управляет работой МГК и ГНС.

Четыре датчика наружного исполнения ДП-1 - ДП-4, размещённые между кронштейнами МГК-2 вдоль оси опорного валка, через собственный электронный блок обеспечивают Систему измерительной информацией о перемещениях МГК-2.

Два датчика ДД-1, ДД-2, встроенные в МГК-2, через собственный электронный блок обеспечивают Систему измерительной информацией об усилиях прокатки металла по

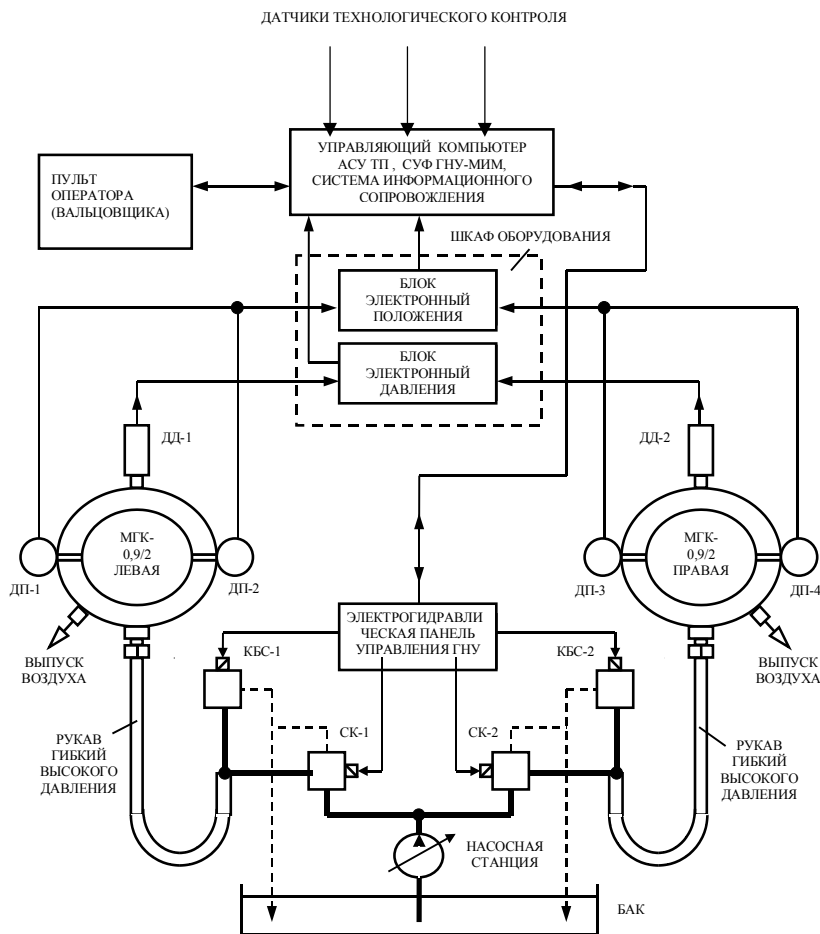


Рис.3.11 СУФ ГНУ - МИМ.
Схема структурная

1.2. Варианты конструкций мембранных гидрокапсул.

Одномембранная МГК-1 - основная конструкция гидрокапсулы с минимально возможной габаритной высотой 50 –150 мм в зависимости от грузоподъёмности Q и наличия свободного пространства в месте установки в оборудовании (рис.1.4.).

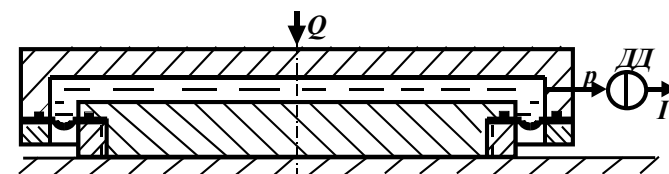


Рис.1.4. Одномембранная конструкция гидрокапсулы (МГК-1)

МГК-1 предназначена для точного измерения внешней силы сжатия Q_c любой заданной величины при минимальном смещении (проседании) $s \leq 0,1 - 0,5$ мм жёсткого центра мембраны или для воспроизведения сил распора нагружаемого объекта при заданном максимальном ходе $S \leq 5 - 10$ мм.

Оптимальное сочетание габаритных размеров (компактность) этих гидрокапсул, возможность использовать сверхвысокое давление жидкости (до 200 МПа) позволяет встраивать их в промышленное оборудование с ограниченным свободным пространством установки.

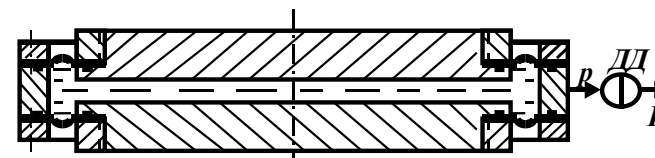


Рис.1.5. Двухмембранная конструкция гидрокапсулы (МГК-2)

Двухмембранная МГК-2 (рис.1.5.) - наиболее рекомендуемая к применению как при измерении сил сжатия, так и при воспроизведении сил распора практически любой величины.

МГК-2 - **базовая** конструкция гидрокапсулы типа «мембранная коробка» с возможностью удвоенного, по сравнению с МГК-1, осевого перемещения двух сходящихся (до смыкания) и расходящихся (в пределах хода $S \cong 15 - 30$ мм или более - по требованию) двух жёстких центров мембран [12].

Двухполостная МГК-П - промежуточный вариант конструкции с переключкой, разделяющей мембранную коробку на две полости (рис. 1.6.).

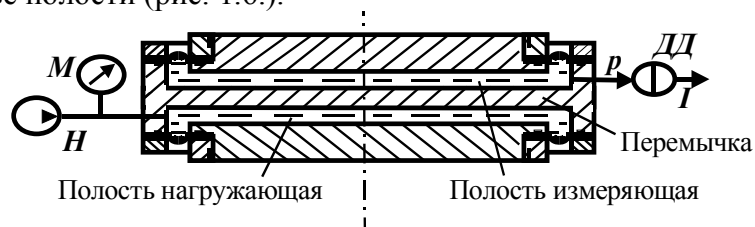


Рис.1.6. Двухполостная конструкция гидрокапсулы (МГК-П)

Измеряющая полость предварительно заполнена жидкостью и заглушена датчиком давления. Смещение (проседание $s \leq 0,1 - 0,2$ мм) жёсткого центра мембраны происходит вследствие её упругой деформации и сжимаемости жидкости.

Другая полость – нагружающая – подсоединена к источнику давления жидкости с манометром и предназначена для силового воздействия на нагружаемый объект (оборудования) с возможностью осевого перемещения жёсткого центра мембраны (ход $S \leq 5 - 10$ мм или более - по требованию) [10].

Комбинированная МГК-Ц (рис.1.7.) - универсальная конструкция, сочетающая полость силоизмерительной МГК-1 с

технической модели деформации клетки.

По запросу оператора АСУ ТП предусмотрен вывод на печать реализованной кривой профилирования в табличной форме.

Готовность/неготовность Системы к автоматической работе индицируется оператору-технологу и оператору АСУ ТП на их пульты управления. При совместной работе с ГНУ индикация заданного положения НВ и МГК-2 осуществляется от АСУ ТП. Непосредственное взаимодействие между персоналом стана и техническими средствами Системы имеет место в следующих пунктах: на посту управления черновой клетью, на рабочем месте вальцовщика черновой клетки, на рабочем месте вальцовщика чистовой клетки, на вычислительном центре АСУ ТП.

Основные технические решения по СУФ ГНУ-МГК.

Структурная схема Системы представлена на рис. 3.10 с условными обозначениями:

- СУФ - система управления формой полосы;
- ГНУ – гидравлическое нажимное устройство;
- МГК - левая и правая мембранные гидрокапсулы – исполнительные механизмы ГНУ;
- СК-1, СК-2 – электрогидравлические сервоклапаны панели управления гидроприводом;
- КБС-1, КБС-2 – электрогидравлические клапаны быстрого сброса давления из гидрокапсул;
- ДП-1,..., ДП-4 - датчики (первичные преобразователи) положения – перемещения гидрокапсул;
- ДД-1, ДД-2 - датчики (первичные преобразователи) давления жидкости в гидрокапсулах;
- ГНС - гидравлическая насосная станция;
- ЭПУ - электрогидравлическая панель управления МГК и ГНС

Положение заготовки на участке прокатки отслеживается по информации, поступающей от датчиков технологического контроля, расположенных на линии стана, и вычисляются в АСУ ТП. При входе заготовки в клеть АСУ ТП определяет положения НВ и МГК-2 по результатам опроса двух кодовых датчиков (КД) левого и правого НВ и четырёх датчиков положения МГК-2. Скорость прокатки определяется опросом импульсного датчика (ДИ), измеряющего угол поворота вала главного привода. При несоответствии измеренного положения НВ и МГК-2 или/и скорости прокатки заданным значениям профилировка не производится, о чём уведомляются как оператор-технолог, так и оператор АСУ ТП.

В процессе профилирования осуществляется циклический опрос ДИ, системы измерения положения (СИП) НВ и МГК-2, датчиков усилий прокатки по давлению жидкости. На основании рассчитанной профилировки и текущего значения координаты по длине определяется соответствующее кривой профилирования значение толщины раската в текущей координате, по длине которой, исходя из этого, определяется необходимое положение НВ и МГК-2. При выходе металла из клетки после профилирования производится адаптация модели усилия прокатки. По результатам профилировки производится адаптация модели усилия прокатки для последующих пропусков. При профилировании через заданные промежутки фиксируются значения усилий прокатки и толщины раската с привязкой зафиксированного времени к координате по длине раската.

Толщина раската измеряется либо прямым способом, например, измерителем толщины на выходе из черновой клетки, либо косвенно - на основании измеренных значений положения НВ и МГК-2.

Усилия прокатки измеряются по показаниям датчиков давления жидкости в полостях МГК-2 с использованием матема-

длинноходовым нагружающим и позиционирующим цилиндро-плунжерным исполнительным механизмом, в котором установлены подвижные уплотнения новой конструкции [13].

В отличие от известных конструкций [6], измерение сил возможно, например, за счет контроля давления жидкости в полости цилиндро-плунжерного механизма. Объединённая с цилиндром мембранная полость полностью компенсирует погрешности измерения, связанные с перекосами при установке МГК-Ц, например, в клетки и затиранием плунжера в цилиндре.

При этом по показаниям манометра цилиндра могут контролироваться силы в пределах погрешности $\gamma_{\text{ц}} \leq \pm (1,5 - 2)\%$, а по показаниям датчика давления измеряющей мембранной полости - в пределах $\gamma_{\text{м}} \leq \pm (0,2 - 0,5)\%$.

В МГК-Ц реализована возможность подбора и расчёта оптимальных размеров конструкции по высоте и диаметру. При этом могут быть использованы (при необходимости) сверхвысокие (более 32 МПа) рабочие давления жидкости.

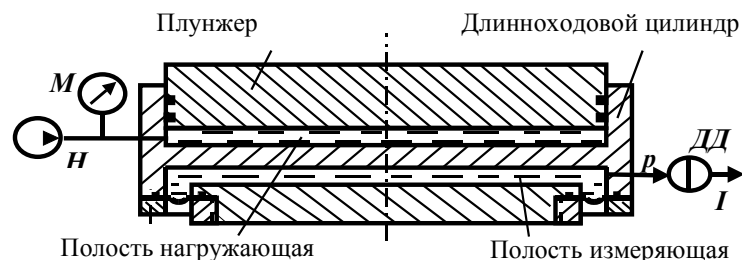


Рис. 1.7. Комбинированная конструкция гидрокапсулы (МГК-Ц)

Все это позволяет использовать МГК-Ц в качестве длинноходового позиционирующего и силоизмерительного исполнительного комплекса в составе ГНУ САР новых и реконструируемых клетей прокатных станов.

Таким образом, из приведенных вариантов выбирается конструкция МГК, удовлетворяющая определённому месту установки в промышленном оборудовании или на объекте.

Все перечисленные варианты конструкций большегрузных МГК перед их внедрением на промышленных объектах многократно подвергались гидравлическим испытаниям на прочность, метрологическим исследованиям и аттестации группой образцовых динамометров сжатия на прессах, воспроизводящих усилия 1000, 2000, 3000 тонн, в организациях Киева, Москвы, Одессы (см., например, рис. 1.8).



Рис. 1.8. Метрологическая аттестация МГК-2 на прессе ИПС-1000тс

Расчёт профилировки раската по толщине, обеспечивающий приближение формы раската к прямоугольной и достижение заданной ширины, осуществляется на основании исходных данных на прокатку, поступающих в Систему от АСУ ТП, системы информационного сопровождения и учёта проката (СИСУП). При неработающей СИСУП исходные данные вводятся оператором-технологом.

Алгоритм работы Системы.

Информация о поступлении на прокатку новой заготовки поступает в Систему от АСУ ТП. По результатам анализа исходных данных делается вывод о необходимости корректировки формы и ширины поступившей на прокатку заготовки.

Расчёт параметров кривой профилирования, необходимого раствора незагруженных валков (НВ) и скорости прокатки при профилировании производится с использованием математических моделей формообразования листа в плане, изменения ширины при прокатке в горизонтальной клети (ГК), усилия прокатки и деформации клети. При расчёте учитываются ограничения, накладываемые на процесс профилирования. Рассчитанные уставки на положение нажимных механизмов и скорости прокатки в последнем пропуске этапа протяжки и разбивки ширины, в которых производится профилирование широких граней раската, выдаются в АСУ ТП и индицируются оператору-технологу черновой клети.

Рассчитывается и выдаётся на отработку уставка на положение нажимных механизмов в предпоследнем пропуске этапа разбивки ширины. Последнее необходимо для возможности реализации в последнем пропуске разбивки ширины заданного значения длины раската и профилировки широкой грани раската, обеспечивающей минимальное отклонение формы торцов раската от прямоугольной.

Система измерения положения (СИП) - External Absolute Displacement Transducer System – производства фирмы KELK (Канада), включая четыре датчика абсолютного перемещения внешнего исполнения ADT, один четырёхканальный процессорный электронный блок P592, две соединительные клеммные коробки JBX, шкаф.

Система измерения давления (СИД) жидкости, т.е. измерения усилий прокатки – Rollmax Fluid Pressure Transducer System фирмы KELK, включая два датчика давления РТТ с резьбовым подсоединением, один двухканальный процессорный электронный блок Р400, одну соединительную клеммную коробку JBX.

Основные требования к системе управления гидравлическим нажимным устройством (СУГНУ) с электрогидравлической панелью управления (ЭПУ) и гидравлической маслонасосной станцией (ГНС), связанными с Системой: ГНС через ЭПУ должна обеспечивать гидравлическим питанием обе МГК с параметрами: давление 32 МПа (320 кгс/см²); расход 150 л/мин, мощность 55 кВт; скорость вращения 1500 об/мин.

СУГНУ в режимах функционирования (регулятор положения, регулятор усилия, регулятор положения с изменяемой эквивалентной жёсткостью клетки) должна обеспечивать следующие характеристики:

скорость хода валков при номинальной нагрузке – 2...2,5 мм/с;

максимальное развиваемое ускорение – 400...500 мм/с²;

время отработки скачка задания 0,1 мм - 20...50 мс;

полоса пропускания - до 15 Гц;

разрешающая способность - 0,001 мм (младший разряд выходного сигнала датчика положения);

точность отработки задания - в пределах младшего разряда датчика положения.

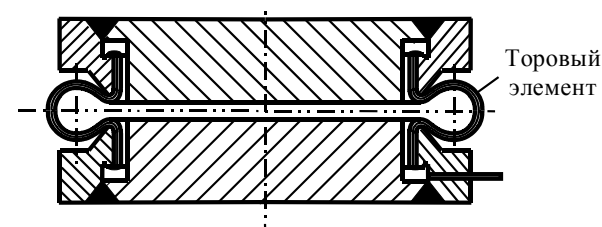


Рис. 1.10. Беспоршневой гидравлический исполнительный механизм АО ЧЕРМЕТАВТОМАТИКА

В АО ЧЕРМЕТАВТОМАТИКА (Москва, Россия) разработана и внедрена на некоторых клетях прокатных станов в составе ГНУ [18, 19] аналогичная конструкция (рис. 1.9) беспоршневого гидравлического исполнительного механизма (БГИМ) с торovým элементом, прикреплённым сваркой к расходящимся –сходящимся жёстким центрам.

По сравнению с БГИМ конструкции МГК обладают рядом существенных достоинств.

1. Лучшие метрологические свойства. Линейность характеристики (ход S – сила Q) в МГК-2 с заданным осевым перемещением при схождении-расхождении жёстких центров под силовой нагрузкой Q или внутренним давлением жидкости p достигнута за счет поддержания стабильности эффективной площади мембраны F путём обеспечения постоянства диаметра D наружного контура мембраны при защемлении её в кольцевом ребре жёсткости.

В БГИМ же эта характеристика нелинейна из-за невозможности поддержания постоянства эффективности площади торového элемента при его деформации (радиальном выпучивании) под действием внутреннего давления жидкости при внешней силе.

2. Габаритная высота при одинаковых силовых нагрузках.

МГК-2 при расчетном усилии, например, 1000 тс имеет высоту не более 180 мм.

Высота БГИМ составляет ориентировочно 400 мм и более.

3. Ремонтпригодность. Все варианты конструкций МГК содержат детали с разъёмными соединениями для быстрой замены мембран.

В неразъёмной конструкции БГИМ торовый элемент, прикрепленный к другим деталям методом сварки, в случае разрушения не подлежит замене.

4. Технология и стоимость изготовления.

Изготовление гофрированной мембраны не требует специальной оснастки. Образование гофров производится непосредственно при гидравлических испытаниях заполненной жидкостью гидрокапсулы (обжати и циклической тренировки «нагружение – разгрузка») на прессе силами сжатия Q_u , вызывающими изменение испытательного давления жидкости $p_u \leq 1,5 p_{max}$. Здесь: $p_{max} > p$ - максимально допустимое давление при эксплуатации, а p - номинальное рабочее давление.

Изготовление же торового элемента БГИМ каждого типоразмера требует индивидуальной сложной и дорогостоящей специальной оснастки (пресс- формы).

Из изложенного видно, что наиболее простыми по технологии изготовления, метрологическим свойствам и техническим характеристикам являются конструкции компактных мембранных гидрокапсул – короткоходовых (МГК-1, МГК-2, МГК-П) и длинноходовых (МГК-Ц).

Они весьма перспективны для промышленного применения в любых устройствах воспроизведения и точного измерения как больших, так и малых сил, а также в качестве прецизионных позиционирующих исполнительных механизмов.

БП и БД размещены в шкафу и подсоединены к Системе, АСУ ТП и системе информационного сопровождения.

СУФ ГНУ-МГК, связанная с АСУ ТП и пультом оператора-вальцовщика, размещена в специальном помещении автоматики стана.

Характеристики основных компонентов КТС Системы.

Исполнительными нажимными механизмами и измерителями усилий прокатки предложена мембранная гидрокапсула МГК - 0,9/2 с техническими характеристиками:

- максимальное усилие прокатки, воспроизводимое двумя МГК, $2Q = 45$ МН (4500 тс);
- номинальное усилие каждой МГК $Q = 22,5$ МН (2250 тс);
- верхние пределы приведенной погрешности измерения усилий $\pm (0,5 \dots 1,5) \%$;
- номинальное давление жидкости $p = 25$ МПа (250 кгс/см²);
- эффективная площадь мембраны $F = 0,9$ м² (9000 см²);
- допустимое перегрузочное усилие $Q_n = 28,8$ МН (2280 тс) при кратковременном давлении жидкости $p_n = Q_n/F = 32$ МПа (320 кгс/см²);
- ударные воздействия - до $p_s = 40$ МПа (400 кгс/см²);
- рабочий ход $S = 50$ мм;
- габаритно-установочные и присоединительные размеры: высота 255 мм; диаметр корпуса и ширина (вдоль оси прокатки) 1300 мм; длина (вдоль оси вала), обусловленная установкой двух ДП - 1600 мм; диаметр поверхности контакта с сопрягаемым подпятником винта - не менее 800 мм;
- испытательное давление 60 МПа (600 кгс/см²) или усилие 54 МН (5400 тс);
- допустимый размах схождения/расхождения жёстких центров мембран ± 30 мм, т.е. максимальный ход $S_{max} = 60$ мм.

Размещение технических средств Системы.

МГК-2 (левая и правая) - в черновой клети между винтами и подушками верхнего опорного валка (рис. 3.9).

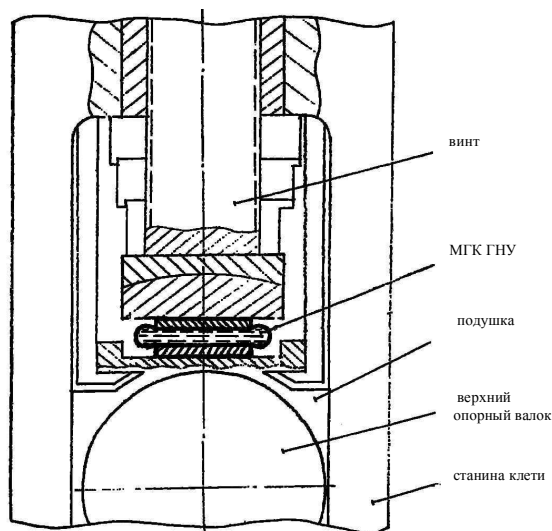


Рис.3.9. Установка в клети мембранного исполнительного механизма гидравлического нажимного устройства

ГНС размещена в специальном помещении цеха (маслоподвале) на кратчайшем расстоянии от ЭПУ.

ЭПУ - на специальной площадке станины черновой клети в непосредственной близости к каждой МГК-2.

Для обеспечения быстродействия ГНУ необходимо минимизировать длину трубопроводов между МГК-2 и ЭПУ.

ДП и ДД установлены на корпусах МГК-2 и электропроводами через соединительные клеммные коробки, размещённые на станине черновой клети, подсоединены к БП и БД.

Глава 2

КАЛИБРАТОРЫ СИЛ И ДЕФОРМАЦИЙ С МЕМБРАННЫМИ ГИДРОКАПСУЛАМИ

2.1. Методы и средства метрологического обеспечения достоверности измерения усилий прокатки металла и упругих характеристик клетей прокатных станов

Эффективность функционирования САР геометрических размеров (толщины, ширины, формы, профиля) заготовок, полос и листов, а также АСУ ТП прокатки металла в значительной мере определяется достоверностью информации, вырабатываемой механоэлектронными системами и устройствами измерения технологических параметров с помощью первичных преобразователей (датчиков), установленных в элементы конструкций клетей прокатных станов.

Доминирующими параметрами, определяющими качество ручного и автоматизированного процесса прокатки с обеспечением требуемых геометрических размеров в жёстких допусках конечной металлопродукции, являются: **усилия прокатки P** (давление металла на валки) и **упругая характеристика** клети (*“пружина”* или *“модуль”*) $M = P/a$ – зависимость изменения межвалкового зазора a от усилий прокатки.

В прокатном производстве наибольшее распространение получили контактные системы измерения усилий прокатки (СИУП), содержащие первичные преобразователи (датчики) – **мессдозы или тензометры** деформации (растяжения) стоек станин клетей. Датчики устанавливают в клети стана, а электронную питающую и показывающую аппаратуру – в отдельных помещениях.

Достоверность измерений усилий этими устройствами не всегда удовлетворяет современным требованиям автоматизированной прокатки металла. Главной причиной этого является применение косвенных («грубых») методов определения усилий. В частности, показания датчиков СИУП ошибочно принимают за действительные, соответствующие предписанной паспортной номинальной статической характеристике (НСХ) преобразования измеряемых усилий в выходные электрические сигналы (напряжение U или ток I).

НСХ определяется при выпуске СИУП из производства путём испытаний на образцовом силоизмерительном оборудовании – гидравлических прессах усилиями до 5000 тс при «идеальных» контактных условиях работы месдоз.

Прокатная же клеть – громоздкое сложное пространственное сооружение, объёмный силовой деформирующий и деформируемый агрегат, оснащенный большим количеством движущихся электромеханических и гидравлических узлов.

При передаче от очага возникновения до мест установки месдоз или тензометров усилия прокатки рассеиваются по элементам клетки в разных направлениях, в результате чего происходит разложение сил в пространстве на вертикальные и горизонтальные составляющие. Например, месдозы воспринимают только вертикальные составляющие усилий. Кроме того, контактные условия работы месдоз в сопряжении с элементами клетки неадекватны условиям выпускной аттестации СИУП на образцовом силоизмерительном оборудовании.

В клетки месдозы располагают попарно соосно с нажимными устройствами правой и левой полустанин, а тензометры – на стойках станины клетки в местах их наибольшей упругой деформации (растяжения) под воздействием усилий, возникающих в очаге прокатки металла.

исполнительными механизмами ГНУ и скоростью главного привода осуществляется локальными системами: системой управления нажимными механизмами (СУНМ) и системой управления главным приводом и рольгангом (СУГПР) в соответствии с уставками, заданными Системой.

При полуавтоматическом режиме управление нажимными механизмами и скоростью главного привода осуществляется оператором-технологом (вальцовщиком черновой клетки) в соответствии с уставками, заданными Системой.

Комплекс технических средств (КТС) Системы включает следующие группы оборудования, подсистем, устройств, датчиков и приборов:

- исполнительные механизмы – мембранные гидрокапсулы МГК-2 с гибкими рукавами высокого давления жидкости;
- гидравлическая маслоснабжающая станция ГНС, выполняющая функцию питания МГК-2 и содержащая аппаратуру подготовки, фильтрации масла и контроля давления в гидравлической системе;
- электрогидравлическая панель управления ЭПУ, выполняющая функцию управления ГНС и МГК-2 и содержащая сервоклапаны, клапаны быстрого сброса давления жидкости, другую электрогидравлическую регулирующую и измерительную аппаратуру. ЭГПУ гидравлически соединена с МГК-2 и ГНС, а электрически – с Системой;
- датчики положения ДП и давления жидкости ДД, установленные в каждой МГК-2. ДП выдают информацию в электронные блоки положения БП и БД. в виде электрических сигналов о перемещениях и позиции МГК-2.
- электронные блоки положения БП и давления БД, установленные в шкафу помещения автоматики стана и АСУ ТП, преобразуют сигналы от ДП и ДД в стандартную форму и выдают информацию о перемещениях и давлениях (усилиях прокатки) обоих МГК-2 в Систему.

установленных МГК-2 для управления формой и шириной раската в одном пропуске - до 50 мм. Место установки – между упорными подпятниками скольжения электроприводных винтов и подушками верхнего опорного вала.

В данном случае для установки МГК-2 в клетки необходима доработка подушек верхнего опорного вала в виде расточки площадки, учитывающей габаритно–установочные и присоединительные размеры мембранной гидрокапсулы.

Каждая МГК-2 (см. рис. 3.2) гибким рукавом высокого давления соединена через панель управления гидроприводом посредством электрогидравлического сервоклапана и клапана быстрого сброса давления жидкости с насосной станцией, а также содержит два датчика положения - для управления зазором между валами и одним датчиком давления - для измерения усилий прокатки.

Электрогидравлическая панель управления (ЭПУ) приводом – гидравлической насосной станцией (ГНС), а также выходные сигналы датчиков МГК-2 связаны с Системой, АСУ ТП, системой информационного сопровождения, пультом оператора- вальцовщика черновой клетки стана.

Система выполняет функции силового и позиционного регулирования зазора между рабочими валами при прохождении раскатов путём управления геометрическими размерами:

- позиционное управление ГНУ;
- индикация положения МГК-2 и усилий прокатки;
- автоматическая диагностика готовности комплекса технических средств (КТС) Системы к работе, контроль достоверности поступающей информации.

Система вместе с АСУ ТП работает в автоматическом и полуавтоматическом режимах.

Выбор режима работы производится оператором АСУ ТП.

При автоматическом режиме управление раствором валков,

Ввиду неадекватности схемы передачи, распределения сил по клетки и их воздействия на мессдозы при эксплуатации СИУП на прокатных станах, реальная характеристика этих систем существенно отличается от предписанной паспортом НСХ.

Необходима перенастройка СИУП непосредственно в клетки. В противном случае мессдозы выдают заниженные показания, что приводит к перегрузке оборудования, снижению эффективности работы САР, АСУ ТП прокатки и в итоге – к браку продукции, т.е. снижению выхода годного.

Для определения же действительной характеристики СИУП с тензометрами необходимо непосредственно в клетки градуировать всю систему «клеть - СИУП» с целью получения через деформацию станины реальной выходной зависимости «усилия прокатки – сигналы тензометров».

При перенастройке СИУП непосредственно на прокатном стане между валами клетки (в очаге прокатки) устанавливают специальное гидравлическое силозадающее измерительное устройство – калибратор сил, по образцовым показаниям которого градуируют всю систему «клеть – мессдозы (или тензометры) СИУП».

Взамен применяемых достаточно грубых приёмов и приспособлений, которые не дают достоверных результатов, для определения упругой характеристики индивидуально каждой конкретной клетки калибраторы сил можно комплектовать датчиками линейных перемещений, измеряющих прогиб валков при их распоре.

Киевским институтом автоматики с 1972 по 1992 гг. проведён комплекс работ по исследованию силоизмерительных систем «клеть – датчики СИУП» многих видов прокатных станов с помощью созданных калибраторов силы УСГ-Q/n с мембранными гидрокапсулами разных конструкций [9] (см. раздел 1).

Выявлено, что коэффициенты искажения НСХ СИУП в клетях достигают значений 0,72– 0,88, зависимость показаний системы «клеть – СИУП» - нелинейная, а реальные деформационные характеристики клетей отличаются от теоретически рассчитанных на 6 – 15 %. Отдельно определялся прогиб валков под силовой нагрузкой [20].

Каждый прокатный стан, в клетях которого имеются средства измерения усилий прокатки, оснащённый калибратором сил и деформаций может комплектоваться электронным блоком коррекции (БКС) сигналов СИУП с учётом индивидуальной перенастройки калибратором всей силоизмерительной системы «клеть – СИУП». В памяти БКС содержится паспортная НСХ СИУП, а по результатам градуирования в клетях определяются как **реальная** характеристика силоизмерительной системы, так и упругая характеристика клети.

Откорректированные сигналы о полученных информативных параметрах от БКС вводятся в определённую иерархическую локальную САР и АСУ ТП прокатки.

Достоверность информации об усилиях прокатки и упругих характеристиках клетей позволяет повысить точность геометрических размеров проката и эффективность управления технологическим процессом. Реализуется возможность эксплуатации оборудования в безаварийном щадящем режиме номинальных силовых нагрузок (без перегрузок), что увеличивает срок службы оборудования и уменьшает эксплуатационные расходы на обслуживание и ремонт.

До 1970 г. в СССР и за рубежом предпринимались попытки создания экспериментальных гидравлических приспособлений для исследования измерителей усилий прокатки непосредственно в клетях, но до выпуска метрологически аттестованных калибровочных устройств дело так и не дошло.

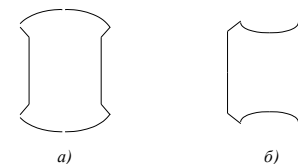


Рис.3.6. Форма раската в плане после прокатки:
а) с расширенными концами; б) с зауженными концами

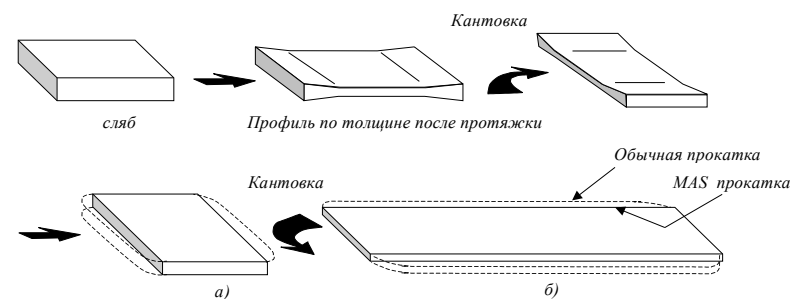


Рис.3.7. Принцип MAS прокатки для уменьшения боковой обрезки.
а) форма раската в плане после разбивки ширины;
б) форма раската в плане после прокатки до конечной ширины

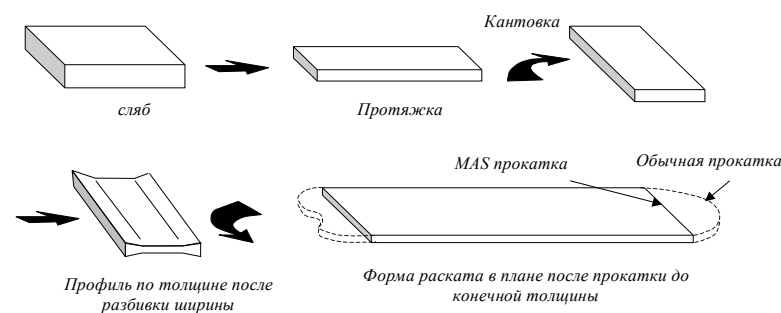


Рис.3.8. Принцип MAS прокатки для уменьшения торцевой обрезки

недостаточно для осуществления такой компенсации.

Вместе с тем, конструкция этого прокатного стана, включающего три клетки: черновую, вертикальную и чистовую, позволяет реализовать преимущества использования принципа MAS – прокатки (рис. 3.6 – 3.8), а именно: за счёт искусственно создаваемой разнотолщинности на этапе протяжки компенсируется искажение формы боковых кромок раската, а на этапе разбивки ширины – искажение формы торцевых кромок.

Эта прогрессивная технология позволяет уже на стадии производства раскатов в черновой клетке уменьшить несовершенства их геометрии в плане, а также экономить металл при последующей порезке полосы (рис. 3.5), существенно сократив припуски на боковую и торцевую обреш.

Задача решается с помощью СУФ ГНУ-МГК в сочетании с АСУ ТП стана.

Для реализации функций ГНУ и СИУП вместо мессдоз установлены МГК-2 той же высоты.

Учитывая оснащение новой *чистой* клетки стана системой управления ГНУ с исполнительными механизмами типа «цилиндр-плунжер», целесообразно использовать аналогичную электрогидравлическую питающую и регулирующую аппаратуру и для реализации новой Системы в черновой клетке.

Рассмотрим более подробно модернизируемый объект управления – *черновую* клетку для реверсивной прокатки из стальных горячих заготовок (слябов) раскатов и толстых плит для последующей их прокатки в чистой клетке стана.

Основные параметры клетки: максимальное усилие прокатки 4500 тс, возможные перегрузки - до 5400 тс. Установка валков верхней группы с заданным начальным зазором до входа заготовки осуществляется электроприводными винтовыми механизмами. Рассчитанные перемещения дополнительно

Из зарубежных литературных источников и патентов известны конструкции калибровочных устройств.

Например, фирма KLOCKNER-WERKE (ФРГ) предложила устройство с традиционными цилиндро-плунжерными гидродомкратами. Недостатки такого решения: из-за больших габаритов гидродомкратов по высоте необходимо удалять из клетки один из валков, что нарушает схему передачи усилий по сравнению с ситуацией при прокатке и, следовательно, снижает точность силовой калибровки системы «клеть – СИУП». При этом также искажается схема деформационной калибровки, которая в этой конструкции не предусмотрена.

Фирмой KELK (Канада) выпускаются калибровочные устройства с тензодатчиками сил сжатия для тонколистовых прокатных станов, клетки которых оснащены мощными нажимными устройствами, развивающими максимальные усилия прокатки металла и, естественно, силы сжатия тензодатчиков устройства.

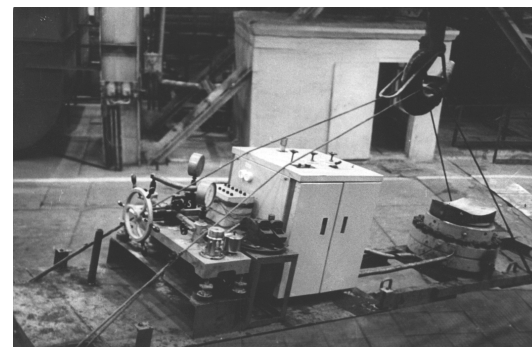


Рис. 2.1. Устройство силовоспроизводящее градуировочное УСГ-1-2000 для блюминга 1500 НТМК

В отличие от тонколистовых станов обжимные, толстолистовые и широкополосные станы оснащены маломощными винтовыми исполнительными механизмами, предназначенными только для установки зазора между валками в отсутствие металла. В таком оборудовании калибровочные устройства KELK вообще неприменимы для градуирования системы «клеть – СИУП» ввиду принципиальной невозможности воспроизводить необходимые силы распора валков тензодатчиками этих устройств.



Рис. 2.2. МКГ-Ц в составе УСТГ-1-2000 между валками блюминга 1500 НТМК

С задачей перенастройки и градуирования систем «клеть – СИУП» успешно справляются гидравлические нагружающие и измерительные устройства (калибраторы сил и деформаций) с мембранными капсулами, которые способны в очаге прокатки физически моделировать ситуацию (точно воспроизводить распор валков и измерять их прогиб под действием сил).

клетях требует тщательного выставления и поддержания требуемых величин раствора валков в процессе прокатки. В этом случае можно обеспечить годный продукт прямоугольной формы (в плане), имеющий необходимую ширину.

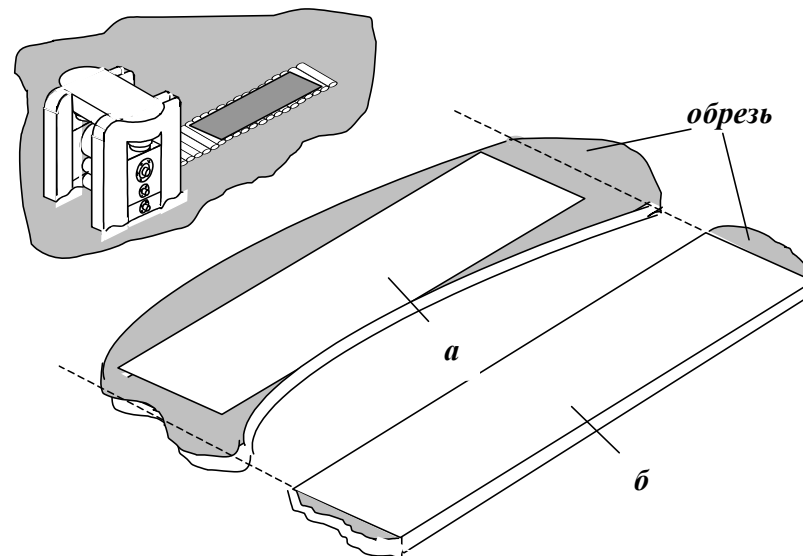


Рис.3.5. Экономия металла при прокатке полос оптимальной формы:
а) без позиционного регулирования процесса; б) с оснащением черновой клетки СУФГНУ-МИМ

Для удержания и регулирования в процессе прокатки требуемого межвалкового зазора, необходимо осуществить силовую компенсацию его отклонений в ходе прокатки, вызванных воздействием металла на валки и станину клетки (подробно о воздействии металла на валки см. выше в разделе 3.1). Мощности существующих электроприводов винтовых устройств

точность геометрических размеров проката. Это достигается за счет более точной и надежной стабилизации зазора между валками и прецизионного регулирования жёсткости клетки при изменении усилий прокатки металла. Кроме того, демпфируются ударные нагрузки на оборудование, повышаются его эксплуатационные характеристики и долговечность работы. Повышается точность позиционирования для поддержания заданного межвалкового зазора и измерения усилий прокатки. Погрешность измерения сил сжатия мембраной камерой $\gamma_m = \pm (0,2 - 0,5) \%$, а сил распора длинноходовым уплотнённым цилиндром $\gamma_u = \pm (1,5 - 2,5 \%)$. При этом увеличивается ресурс эксплуатации уплотнений.

3.3. Управление формой и шириной раскатов гидравлическим нажимным устройством с мембранными гидрокапсулами

Большегрузные компактные двухмембранные гидрокапсулы МГК-2 [9, 12] могут быть использованы в качестве короткоходовых позиционирующих нагружающих и силоизмерительных механизмов ГНУ при реконструкции клеток прокатных станов разных типов.

Рассмотрим возможности МГК-2 на примере их использования в системе управления формой и шириной раскатов «СУФ ГНУ-МГК» на базе вышеописанных способа [11], устройств [9, 12] и технологий [27 – 30] для черновой клетки стана 3600 металлургического комбината АЗОВСТАЛЬ (Мариуполь, Украина).

Как указывалось выше, технология реверсивной прокатки раскатов и плит из горячих заготовок (слябов) в черновых

2.2. Примеры применения мембранных гидрокапсул в составе калибраторов сил и деформаций

Первое отечественное метрологически аттестованное тарифовочное гидравлическое силозадающее устройство УСТГ-1-2000 (рис. 2.1.) с МГК-Ц в 1976 г. введено в эксплуатацию [21] на блюминге 1500 Нижне-Тагильского металлургического комбината (НТМК).

Паспортная погрешность измерения сил сжатия ($Q = 2000$ тс) мембранной гидрокапсулой $\gamma_m = \pm 0,5\%$ при давлении 100 МПа. Погрешность воспроизведения сил распора валков длинноходовым (100 мм) плунжером цилиндра $\gamma_u = \pm 1,5 \%$ при давлении жидкости 200 МПа. Высота МГК-Ц - 450 мм, диаметр - 850 мм (рис. 2.2).

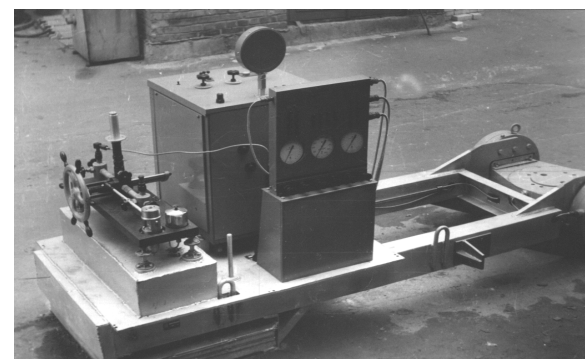


Рис. 2.3. Устройство силопроизводящее градуировочное УСТГ-2 для клеток универсального балочного стана

Там же в 1978 г. на универсально-балочном стане, содержащем горизонтальные, вертикальные и универсальные клетки, внедрено устройство УСТГ-2 (рис. 2.3), с тремя короткоходовыми ($S = 5$ мм) МГК-1 [22].

Блок мембранных гидрокapsул имеет конфигурацию двутавра в поперечном сечении для установки в пространство клетки между горизонтальными и вертикальными валками.

Силы распора: горизонтальных валков 600 тс, вертикальных – 400 тс, погрешность воспроизведения сил $\gamma_m = \pm 1,0 \%$.

С 1982 г. на толстолистовых, широкополосных, тонколистовых станах горячей и холодной прокатки, содержащих различные виды клетей («кварто» и вертикальные) металлургических предприятий России, Казахстана, Украины, Индии [23] внедрено несколько модификаций калибраторов сил и деформаций типа УСГ-Q/n (рис. 2.4 – 2.5).

В условном обозначении калибраторов УСГ - Q/n:

- суммарная сила распора валков,
- количество МГК-2 в конкретной модели калибратора.

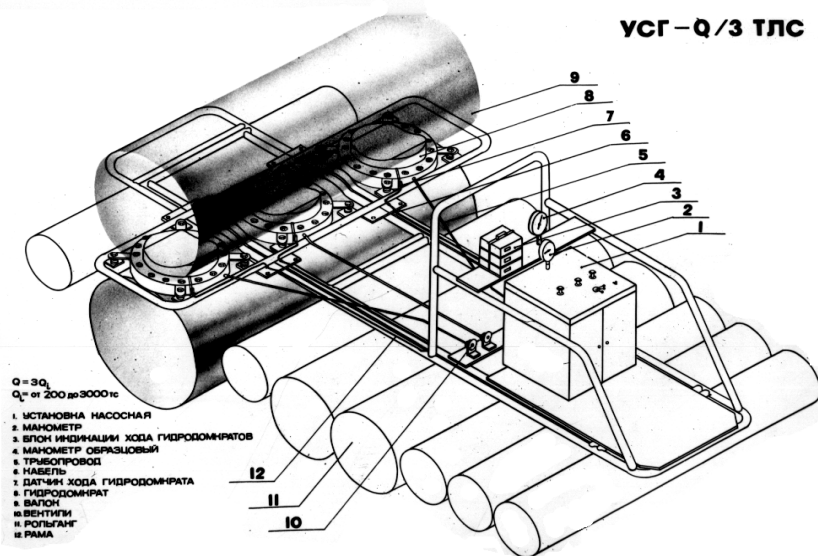


Рис. 2.4. Схема установки калибратора УСГ-Q/3 между валками толстолиствого стана

Количество канавок под уплотнения в плунжере может варьироваться в зависимости от максимальной величины рабочего давления жидкости. Для создания благоприятных условий работы уплотнений, трущихся о стенку цилиндра, чистота («зеркало») её поверхности при изготовлении достигается обкаткой роликовым приспособлением с медленными осевой подачей и вращением цилиндра в супорте станка.

В наружной нижней части цилиндра 5 (рис. 3.3.) имеется углубление, куда укладывается круглая гофрированная мембранная мембрана 7 с составным жёстким центром 8. Мембрана по наружному контуру закреплена вместе с торцевым уплотнением 9 в кольцевом фланце 10 болтами 11.

Образованная плунжером и цилиндром полость через датчик давления и сервоклапан 12, 13 соединена с источником гидравлического питания и сливом. Образованная цилиндром и мембраной камера 6 через датчик давления и сервоклапан 14, 15 также соединена с источником гидравлического питания и сливом.

Комбинация цилиндра с длинноходовым плунжером и податливой мембранной камерой жёстким центром воспринимает и автоматически компенсирует возможные перекосы и смещения, действующие на весь исполнительный механизм, вызванные при его установке и сопряжении с механически несовершенными конструкциями узлов клетки.

Одновременно с этим мембранная камера является в несколько раз более точным (по сравнению с уплотнённой парой «плунжер-цилиндр») преобразователем силы в давление жидкости вследствие постоянства эффективной площади мембраны под действием перекосов и смещений. Это также позволяет существенно увеличить точность позиционирования исполнительного механизма при стабилизации толщины.

При использовании МГК-Ц значительно повышается

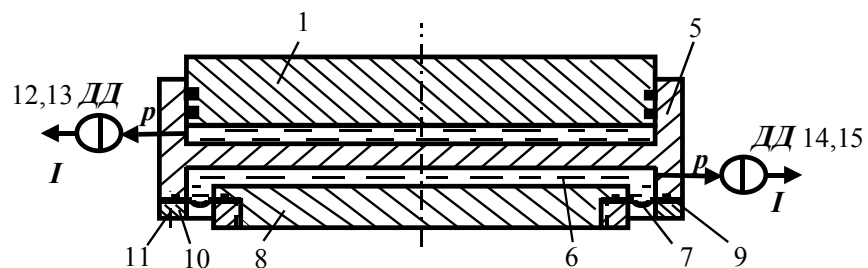


Рис. 3.3. Конструкция МГК-Ц

плунжера I установлены защитные кольца 2 прямоугольного сечения и эластичные комбинированные манжеты в виде сочетания кольца 3 круглого сечения с шевроном 4 , обращённым в сторону действия давления рабочей жидкости.

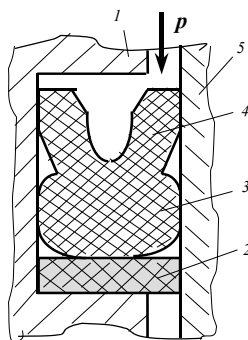


Рис.3.4. Конструкция уплотнительного узла МГК-Ц



Рис. 2.5. Калибратор УСГ-25/2 для листовых станов горячей прокатки (на заводском складе перед поставкой)

В зависимости от задачи каждый конкретный калибратор сил гидравлический (КСГ) может комплектоваться одним или несколькими МГК (рис. 2.6.) усилием до 3000 тс.

Каждый калибратор может содержать группу из нескольких МГК любой конструкции и развивать усилия распора валков до 10000 тс, а при необходимости - и более (рис. 2.7).

Здесь (A_1 , A_2 , A_3) – варианты размещения мессдоз, A_4 – тензодатчиков.

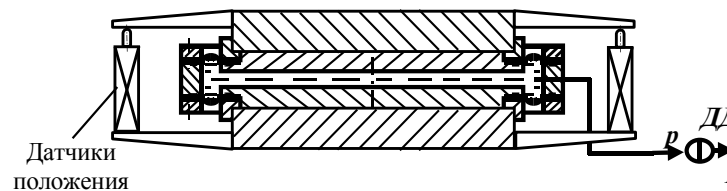


Рис. 2.6. Мембранные гидрокапсулы для УСГ с датчиками положения.

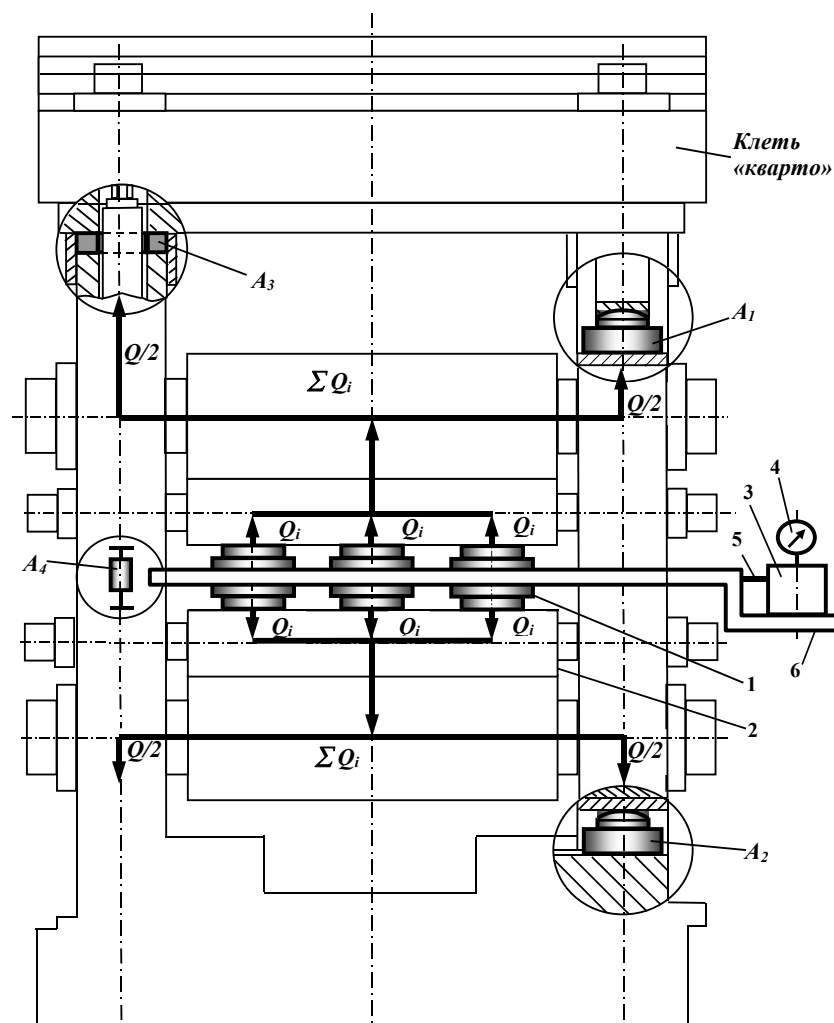


Рис. 2.7. Схема градуировки силовой системы «клеть-СИУП» с помощью калибратора, оснащенного тремя МГК-2.

1- МКГ-2; 2 – нижний рабочий валок; 3 – насосная станция; 4 – образцовый манометр; 5 – трубопроводы; 6 - рама

3.1. Особенности конструкции ГНУ с мембранными гидрокапсулами

Наряду с электромеханическими (винтовыми) нажимными устройствами (ЭМНУ) в клетях различных прокатных станов зарубежные фирмы и отечественные предприятия устанавливают более совершенные гидравлические нажимные устройства (ГНУ), обладающие рядом преимуществ по сравнению с ЭМНУ. В некоторых случаях практикуют также варианты совмещения ГНУ с ЭМНУ.

Исполнительные механизмы (ИМ) ГНУ САРТ полосы [6] обычно выполняют в виде цилиндров с плунжерами или поршнями и комплектуют точными датчиками положения поршня и давления, используемыми в системе управления для позиционного регулирования и измерения усилий прокатки металла.

Обычно такие ИМ снабжены резино- фторопластовыми уплотнениями в направляющих, обеспечивающих минимально возможный коэффициент трения. Конструкция ИМ и их соединений с нажимными винтами и подушками валков предусматривает автокомпенсацию возможных погрешностей установки, биений, перекосов подушек в окнах станин.

Однако наличие автокомпенсации не всегда обеспечивает требуемую для САРТ точность измерения усилий прокатки и позиционирования. Причиной этого является непостоянство сил трения в уплотнениях (3,5...5 %) вследствие перекосов, неровностей и непараллельности поверхностей сопрягаемых узлов в местах установки ИМ в клетях.

Для повышения точности измерения усилий прокатки и позиционирования исполнительных механизмов клетей прокатных станов с ГНУ, в ГНПП «АИСТ» разработана конструкция комбинированного механизма МГК-Ц [13](рис.3.3.).

Важным элементом этой конструкции является уплотнительный узел (рис. 3.4). В боковых канавках длинноходового

При прокатке металла жёсткость клетки также изменяется под силовым воздействием “температурного клина”, “глице-саж-ных меток” и биений валков. Корректировка жёсткости клетки производится соответствующим изменением давления жидкости в полостях гидрокапсул. Кроме того, при каждом пропуске с уменьшением толщины происходит удлинение заготовки, в связи с чем изменяются координаты силовых возмущений и соответственно толщина, подлежащая стабилизации. Изменения координат по длине заготовки и направлению прокатки учитываются блоком управления жёсткостью клетки.

Эффективность такой системы обусловлена улучшением целого ряда технико-экономических показателей. В частности, например, вследствие стабилизации зазора между валками повышается точность геометрических размеров готового проката.

Применение ГНУ с мембранными гидрокапсулами вместо жёстких клиновых или винтовых механизмов приводит к демпфированию (поглощению) энергии ударов при захвате металла валками, что защищает оборудование от динамических перегрузок и продлевает срок его службы.

Введение в САПР с ГНУ контура упреждающего регулирования жёсткости клетки по результатам информации о силовых воздействиях, полученных при первом пропуске заготовки, создаёт возможность прогнозировать поведение клетки при следующих пропусках. Это позволяет регулировать жёсткость клетки и, следовательно, повысить эффективность управления толщиной проката. Повышается общая надёжность работы оборудования за счёт установки в клеть регулирующих, позиционирующих и силоизмерительных мембранных гидрокапсул с длительным сроком службы.

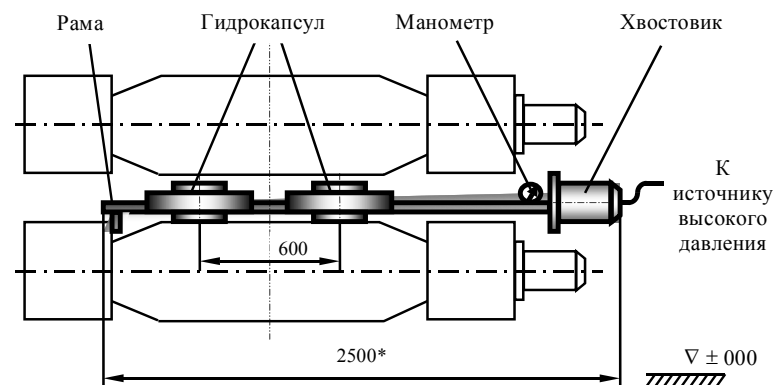


Рис.2.8. Схема установки КСГ-15/2 на стане ТАНДЕМ-1000 Кировского завода ОЦМ.

Установка калибратора в клеть производится либо по рольгангу, например, толстолистого прокатного стана, либо со стороны перевалки по месту, используя различные конструкции устройств механизированной смены рабочих валков.

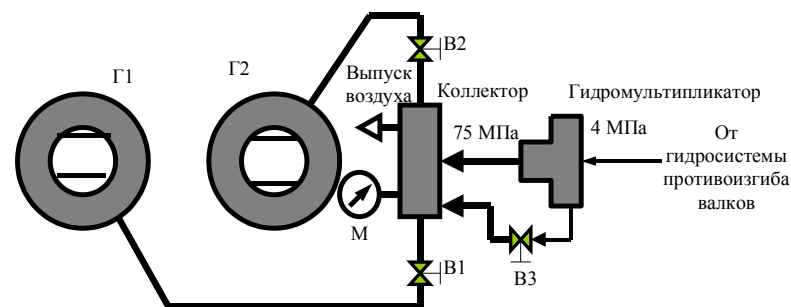


Рис.2.9. КСГ-15/2. Схема принципиальная гидравлическая

Наиболее современная конструкция калибратора сил и деформаций (**КСГ-Q/n**) с МГК-1 разработана в 2002 году для клеток стана ТАНДЕМ – 1000 Кировского завода обработки цветных металлов (рис. 2.8, 2.9).

КСГ-15/2 может быть укомплектован либо насосной установкой сверхвысокого давления жидкости, либо специальным усилителем - гидромultiпликатором, подсоединённым к штатной гидросистеме клетки (рис.2.9).

Как видно из приведенных примеров, использование мембранных гидрокапсул для создания калибраторов сил и деформаций прокатных станов является весьма эффективным.

Длительный срок безаварийной эксплуатации таких устройств, содержащих большегрузные коротко- и длинноходовые, мембранные и комбинированные гидрокапсулы, является залогом их успешного применения и в будущем.

Сегодня уже не вызывают сомнений их компактность, высокая точность воспроизведения / измерения сил сжатия и распора, а также широкие возможности прецизионного регулирования положения объекта

Клеть реверсивного толстолистового стана, как правило, укомплектована типовым управляющим электрическим оборудованием, а именно: пультом оператора, системой автоматического регулирования толщины (САРТ) полосы с использованием программируемого микропроцессорного контроллера, средствами измерения усилий прокатки (мессдозами), измерителями толщины и длины.

Между станиной и подушками нижних опорных валков в такой клетке вместо клиновых или винтовых механизмов можно установить гидрокапсулы 1 с мембранами 2 (см. рис.3.2). Гидрокапсулы оснащены датчиками давления 3 и датчиками положения 4, а также подключены через сервоклапаны 5 и клапаны 6 быстрой разгрузки к насосной станции 7, сливной магистрали 8 и блоку управления жёсткостью клетки 9, соединённого с САРТ и пультом оператора. Перед и за очагом прокатки металла в клетке установлены фотодетекторы 10 индикации концов полосы при захвате её валками в прямом и обратном направлениях прокатки.

Система работает следующим образом.

При установке линии уровня прокатки жидкость в гидрокапсулах находится под фиксированным давлением, пропорциональным массе валков нижней группы. При касании валков движущейся заготовкой происходит удар, давление в гидрокапсулах резко увеличивается, мембраны упруго деформируются и их жёсткие центры сходятся. В результате сжатия гидрокапсул понижается жёсткость клетки и уровень линии прокатки, что позволяет погасить энергию удара и уменьшить динамические перегрузки клетки. После захвата заготовки валками в гидрокапсулы подают дополнительную порцию жидкости до восстановления начальной высоты гидрокапсул, а линия уровня прокатки и жёсткость клетки восстанавливаются до исходных значений.

На рис.3.2 представлен пример блок-схемы электрогидравлической системы для стабилизации толщины проката.

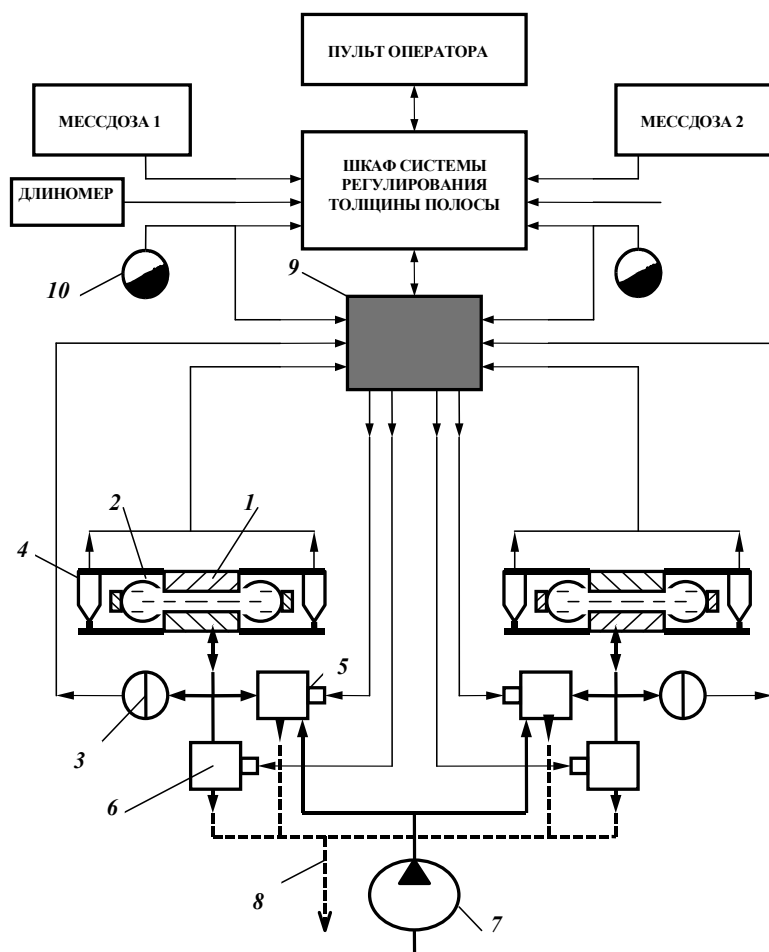


Рис. 3.2 Блок-схема электрогидравлической системы для стабилизации толщины листа

Глава 3

МЕМБРАННЫЕ ГИДРОКАПСУЛЫ СИЛОВОГО И ПОЗИЦИОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОКАТКИ

3.2. Система стабилизации толщины проката на толстолистовых станах

Современные АСУ ТП прокатного производства и САР геометрических параметров (толщины, ширины, формы) металлопродукции прокатных станов функционируют эффективно при наличии установленных в клетях силовых позиционирующих исполнительных механизмов гидравлических нажимных устройств (ГНУ) и средств измерения с высокой точностью различных технологических параметров [25].

В качестве примера применения мембранных гидрокапсул в системах стабилизации толщины проката с ГНУ рассмотрим одну из последних разработок Киевского института автоматики [11, 12, 26]. Задача стабилизации толщины листа должна обеспечиваться за счёт регулирования жёсткости клетки в достаточном диапазоне для компенсации ударных и других возмущающих силовых воздействий металла на валки.

Согласно технологической схеме прокатки необходимо предварительно устанавливать уровень линии прокатки и фиксировать соответствующие усилия между валками.

Перед первым пропуском заготовки надо устанавливать требуемый межвалковый зазор и его будущие изменения перед каждым последующим пропуском, вплоть до достижения заданной толщины.

При первом пропуске заготовки производится измерение усилий прокатки и температуры, определение отклонения сил

от минимальной измеренной величины, а также контроль толщины и длины проката. Кроме того, определяется диапазон и характер изменения жёсткости клетки. Данные усилий прокатки, полученные при первом пропуске, используются с упреждением в последующих пропусках для управления величиной этих усилий. Их величина изменяется путём создания в полостях мембранных гидрокапсул требуемого давления жидкости в рамках установленного в первом пропуске диапазона. Величина упреждения корректируется в зависимости от удлинения проката после каждого пропуска заготовки через клеть.

Отличительной особенностью технологии реверсивной толстолистовой прокатки горячих заготовок [27] является то, что для получения годного, кондиционного по геометрическим параметрам продукта, необходимо предварительно установить, а во время прокатки стабилизировать заданный винтовыми или клиновыми механизмами клетки нижний уровень прокатки и раствор в свету между валками нижней и верхней групп.

Однако в процессе прокатки величина межвалкового зазора отклоняется от номинального значения из-за встречного силового воздействия заготовки на валки. Осуществить силовую компенсацию этого воздействия весьма затруднительно, а часто и просто невозможно из-за малой мощности электроприводных (винтовых) механизмов верхней группы валков. Это приводит к деформации оборудования и искажению конфигурации зазора при прохождении металла. Искажению способствуют также изменения температурного поля и физических свойств заготовки (локальные твёрдости вдоль её длины) и некоторые другие технологические особенности прокатки.

Факторами, вызывающими изменения усилий прокатки, деформацию клетки и повышенный износ оборудования, помимо биений валков из-за эксцентриситета, являются:

- удары, возникающие при захвате металла валками, его обжатии и выходе из клетки,
- “температурный клин” – неравномерность температуры нагрева от “головы” к “хвосту” и твердости проката по его длине;
- “глиссажные метки” – поперечные линии (холодные следы от соприкосновения горячего металла с водоохлаждаемыми глиссажными трубами при выгрузке из печи), также вызывающие неравномерность твердости по длине заготовки.

На рис. 3.1. приведен график характера силовых воздействий на валки по длине заготовки, подлежащих компенсации.

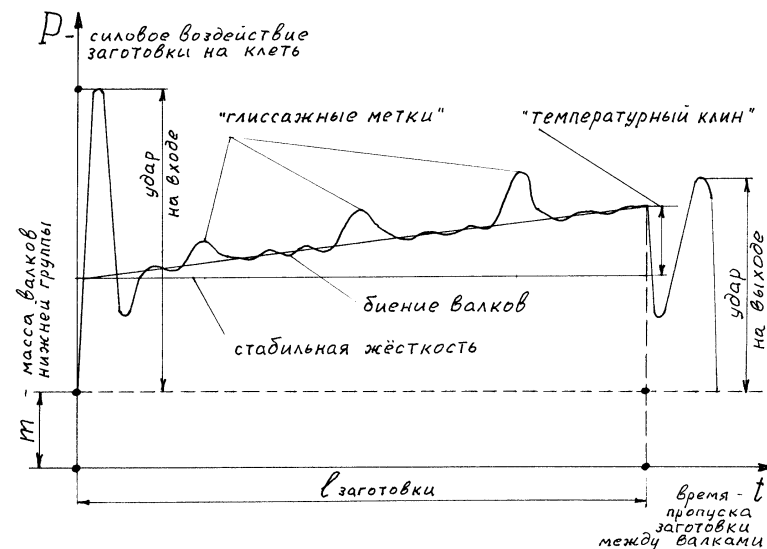


Рис. 3.1. Характер силового воздействия листа на валки

