

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОГОФРОВОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ
МНОГОСЛОЙНОЙ МЕМБРАНЫ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ
БОЛЬШИХ УСИЛИЙ

Ю.Б.Беляев

Гидравлические мембранные силоизмерители /ГМС/, используемые в устройствах для градуировки рабочих средств измерения усилий прокатки металла /непосредственно в клетях прокатных станков/, характеризуются более высокой точностью, эксплуатационной надежностью, технологичностью изготовления и простотой обслуживания по сравнению с гидродомкратами типа "уплотненный поршень - цилиндр" и приборами косвенного измерения больших усилий [1].

Погрешность измерения и надежность ГМС в основном определяются упругими свойствами чувствительного элемента - однофртовой металлической мембраны, представляющей собой относительно толстую осесимметричную торообразную оболочку вращения. Упругая характеристика мембраны при действии измеряемого усилия определяется осевыми перемещениями ее жесткого центра /МЦ/ вверх и вниз от среднего нейтрального положения [2]. До настоящего времени в приборах мембранной техники и, в частности, в ГМС применяются монолитные мембраны расчетной толщины, в которых при работе возникают значительные изгибающие напряжения. Толщиной мембраны определяется ширина петли гистерезиса и долговечность ГМС при рабочих перемещениях МЦ [3]. Напряжения, возникающие в мембране, определяют ее статическую прочность и надежность.

Для градуировки весоз и датчиков деформации станин клетей универсального балочного стана /УБС/ Нижне-Тагильского металлургического комбината /НТМК/ в Киевском институте автоматики разработано гидравлическое тарировочное устройство УСПГ-2, в котором применены ГМС с многослойными однофрвыми металлическими мембранами.

Чувствительный элемент ГМС выполнен в виде плотного пакета /расчетной толщины/ тонких мембран, так как наиболее благоприятными и предпочтительными условиями работы материала является работа на растяжение; силы трения между отдельными тонкими листами пакета меньше внутренних сил трения толстой монолитной мембраны. вследствие этого силы упругости и затраты энергии при изгибе пакета тонких листов меньше, чем монолитной мембраны той же толщины, и каждый тонкий лист пакета работает в условиях, близких к растяжению.

Изгибающие моменты M_t и M_γ , напряжения σ_t и σ_γ и де-

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОГОФРОВОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МНОГОСЛОЙНОЙ МЕМБРАНЫ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ БОЛЬШИХ УСИЛИЙ

Ю.Б.Беляев

Гидравлические мембранные силоизмерители /ГМС/, используемые в устройствах для градуировки рабочих средств измерения усилий прокатки металла /непосредственно в клетях прокатных станов/, характеризуются более высокой точностью, эксплуатационной надежностью, технологичностью изготовления и простотой обслуживания по сравнению с гидродомкратами типа "уплотненный поршень - цилиндр" и приборами косвенного измерения больших усилий [1].

Погрешность измерения и надежность ГМС в основном определяются упругими свойствами чувствительного элемента - однофровой металлической мембраны, представляющей собой относительно толстую осесимметричную торообразную оболочку вращения. Упругая характеристика мембраны при действии измеряемого усилия определяется осевыми перемещениями ее жесткого центра /Щ/ вверх и вниз от среднего нейтрального положения [2]. До настоящего времени в приборах мембранной техники и, в частности, в ГМС применяются монолитные мембраны расчетной толщины, в которых при работе возникают значительные изгибные напряжения. Толщиной мембраны определяются ширина петли гистерезиса и долговечность ГМС при рабочих перемещениях Щ [3]. Напряжения, возникающие в мембране, определяют ее статическую прочность и надежность.

Для градуировки весоз и датчиков деформации станин клетей универсального балочного стана /УБС/ Нижне-Тагильского металлургического комбината /НТМК/ в Ижевском институте автоматики разработано гидравлическое тарировочное устройство УСТГ-2, в котором применены ГМС с многослойными однофровыми металлическими мембранами.

Чувствительный элемент ГМС выполнен в виде плотного пакета /расчетной толщины/ тонких мембран, так как наиболее благоприятными и предпочтительными условиями работы материала является работа на растяжение; силы трения между отдельными тонкими листами пакета меньше внутренних сил трения толстой монолитной мембраны. Вследствие этого силы упругости и затраты энергии при изгибе пакета тонких листов меньше, чем монолитной мембраны той же толщины, и каждый тонкий лист пакета работает в условиях, близких к растяжению.

Изгибающие моменты M_t и M_γ , напряжения σ_t и σ_γ и де-

формации ε_t и ε_r в окружном /индекс t / и радиальном /индекс r / направлениях в любом элементарном слое монолитной мембраны можно определить по формулам [4] :

$$M_t = \frac{E h^3}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{1}{\rho_t} - \mu \frac{1}{\rho_r} \right); \quad M_r = \frac{E h^3}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{1}{\rho_r} - \mu \frac{1}{\rho_t} \right);$$

$$\sigma_t = \frac{E y}{1-\mu^2} \left(\frac{1}{\rho_t} - \mu \frac{1}{\rho_r} \right); \quad \sigma_r = \frac{E y}{1-\mu^2} \left(\frac{1}{\rho_r} - \mu \frac{1}{\rho_t} \right);$$

$$\varepsilon_t = \frac{(M_t - \mu M_r) y}{\frac{E h^3}{12}}; \quad \varepsilon_r = \frac{(M_r - \mu M_t) y}{\frac{E h^3}{12}},$$

где E - модуль упругости материала мембраны; h - толщина мембраны; μ - коэффициент Пуассона; ρ_t и ρ_r - радиусы кривизны нейтрального слоя поперечного сечения мембраны в окружном и радиальном направлениях; y - координата элементарного слоя мембраны относительно ее нейтрального слоя.

Из этих формул следует, что толщина мембраны h при других одинаковых параметрах определяет напряженное состояние мембраны, а именно: чем меньше h , тем меньше M и σ и больше ε . Можно заключить, что мембрана многослойного исполнения имеет лучшую податливость по сравнению с монолитной, выдерживает большее количество перемещений Δz , т.е. ее метрологические свойства и надежность выше.

На рис.1 показаны виды сравнительных предполагаемых эюр распределения напряжений в поперечном сечении монолитной /а/ и многослойных /б, в/ мембранах. При консистентной смазке между слоями пакета силы трения слоев не должны оказывать значительного влияния на погрешность ГМС.

Многослойную мембрану можно рассчитывать по следующей методике. По формуле Лапласа определяется толщина пакета $h = \frac{p \rho_r}{[\sigma]}$, где p /кгс/см²/ - максимальное давление жидкости, формирующее гофр мембраны способом гидростамповки в свободный зазор между Δz и корпусом ГМС; ρ_r /см/ - радиус кривизны гофра /внутренней поверхности пакета/; $[\sigma]$ кгс/см²/ - допустимое напряжение, обусловленное выбранной маркой материала мембраны. Выбирают такое количество K тонких листов, чтобы общая толщина пакета $h \geq K h_1$, где h_1 /см/ - толщина тонкого листа.

Уточненный расчет циклической надежности чувствительного эле-

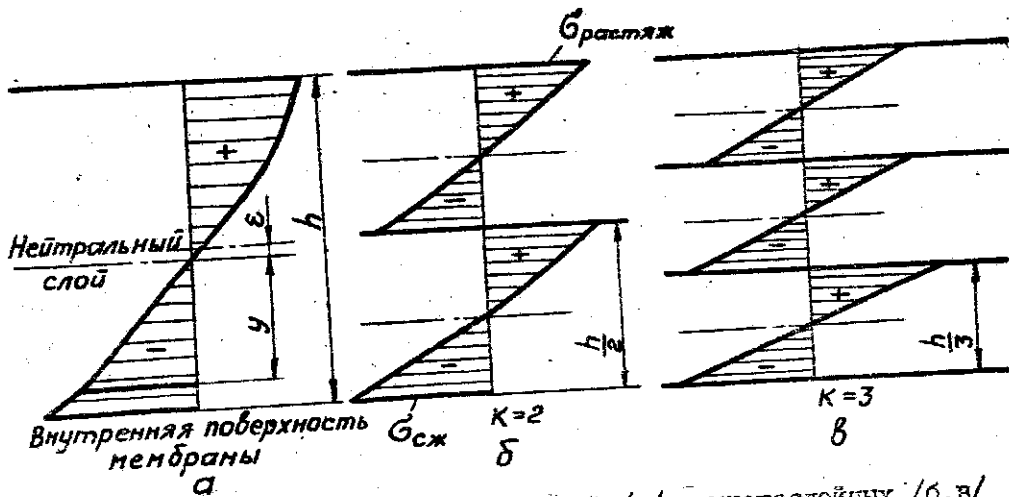


Рис.1. Эпюры напряжений в монолитной /а/ и многослойных /б, в/ мембранах

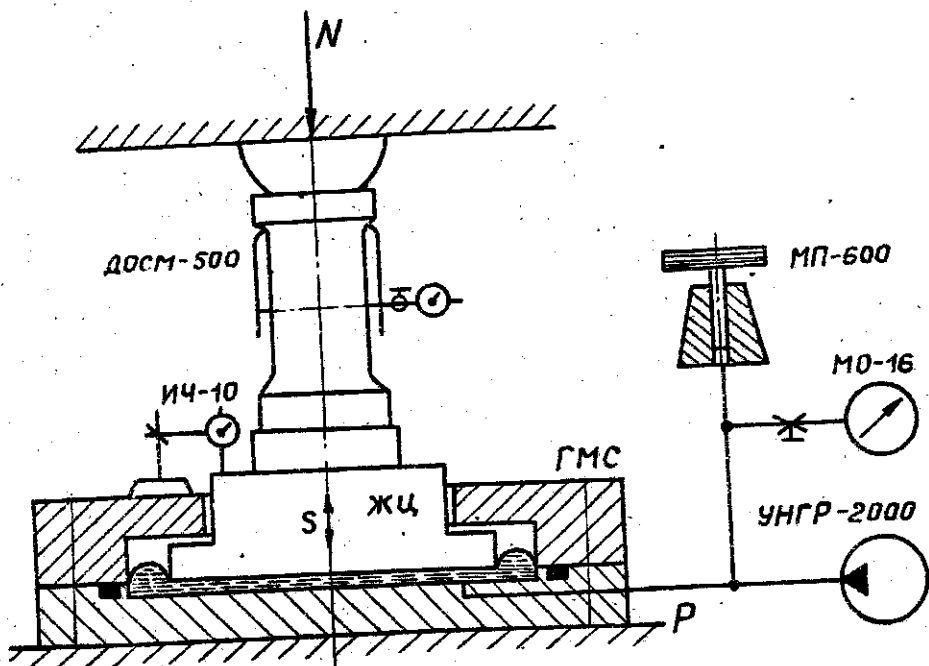


Рис.2. Схема расположения приборов на прессе при исследованиях ГМС

Задаваемое по МП-600 давле- ние р в ГМС, кгс/см ²	Средние значения пока- заний ЦОСМ-500, тс			Максимальные значения вариаций, тс			Ширина петли гисто- резиса, тс		
	ГМС № 1	№ 2	№ 3	ГМС № 1	№ 2	№ 3	ГМС № 1	№ 2	№ 3
50	66	62	60	3	2	2	4	4	4
100	118	112	113	3	2	2	3	5	2
150	169	163	164	3	2	1	2	5	3
200	220	214	215	3	2	1	3	5	1
250	270	264	265	2	2	1	3	4	1
300	319	314	314	2	2	1	3	3	1
350	368	364	362	2	2	2	4	3	2
400	417	413	410	3	2	2	4	2	3
450	466	462	458	3	2	1	4	2	2
500	515	511	506	2	2	1	4	1	2

мента можно проводить по методике расчета тонких торообразных оболочек вращения [5] при допущении, что $p_1 = \frac{P}{K}$, где p_1 /кгс/см²/ - давление, испытываемое каждым тонким листом пакета.

В таблице приводятся результаты экспериментальных метрологических исследований трех ГМС с пределом нагружений до 500 т с монолитной, двух- и трехслойными мембранами с одинаковыми геометрическими параметрами /рис.2/. При этом использовались следующие образцовые приборы: динамометр 3-го разряда ДДСМ-500, грузопоршневый манометр МП-600 класса 0,05. Общее перемещение ШЦ при нагружениях ГМС составляло около 6 мм /ход ШЦ измерялся индикаторной головкой часового типа ИЧ-10/. ГМС № 1 /с монолитной мембраной $h = 2$ мм из стали X15H90/ подвергся 500 циклам нагружения - разгружения, ГМС № 2 /с двухслойной мембраной $h = 2$ $h_1 = 2 \times 1$ мм из стали X15H90/ - 1200 циклам, ГМС № 3 /с трехслойной мембраной $h = 3$ $h_1 = 3 \times 0,8$ мм из стали X18H9T/ - 2000 циклам. Причем все ГМС работали в режиме 100%-ной перегрузки /до 1000 т/, их приведенная погрешность составила 0,5% и разрушения мембран не произошло.

Таким образом, применение многослойной металлической однофривой мембраны позволяет увеличить класс точности и надежность ГМС, особенно при измерениях больших усилий, что улучшает метрологические свойства гидравлических устройств для имитации нормированных усилий распора валков прокатных клетей.

Точность чувствительного элемента ГМС увеличивается с увеличением слоев тонких листов пакета при сохранении его общей толщины.

Л и т е р а т у р а

1. Б е л я е в Ю.Б. и др. - В кн.: Разработка и внедрение АСУ прокатными станами. М., изд. ЦНИТЭИ приборостроения, 1975, с.258-262 с ил.
2. В о д я н я к В.И. Эластичные мембраны. М., "Машиностроение", 1974. 148 с. с ил.
3. Г е р ц Е.В., К р е й н и н Г.В. Теория и расчет силовых пневматических устройств. М., Изд-во АН СССР, 1962. 178 с. с ил.
4. Ж и б а р е в а И.Н. - В кн.: Расчеты на прочность. Вып.13. М., "Машиностроение", 1963, с.297-315 с ил.
5. С е р е н с е н С.В. и др. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность. М., "Машиностроение", 1975. 488 с. с ил.