

УДК 621.82

УПРАВЛЕНИЕ ИЗГИБНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ ШПИНДЕЛЯ С РЕМЕННЫМ ПРИВОДОМ

В. Л. БАСИНЮК, А. В. КУЛЕШОВА

Государственное научное учреждение
«ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

Шпиндельные узлы с ременным приводом широко используются при производстве прецизионных станков. Проведенные исследования [1, 2] показали, что ременная передача привода способствует возникновению и передаче угловых и изгибных колебаний с частотами вращения электродвигателя и кратными числу пробегов приводного ремня в секунду. В случаях действия на шпиндель полигармонических нагрузок, а также возникновения самовозбуждающихся колебаний шпинделя, вызванных силами в опорах, ось шпинделя движется по сложной траектории. Под воздействием периодически изменяющихся сил шпиндель совершает упругие колебания, которые становятся особенно сильными в зоне резонансов, когда частота возмущающих сил совпадает с частотами его собственных колебаний.

Для улучшения динамических характеристик шпиндельных узлов, предложено экспериментальное устройство для уменьшения влияния изгибных колебаний, вызванных колебаниями сил ременной передачи, на траекторию оси шпинделя. Гидрокинематическая схема данного устройства представлена на рис. 1.

Устранение изгибных колебаний шпинделя 3 осуществляется следующим образом. За счет разности давления в полостях гидроцилиндра 7, создаваемого насосами 15 и 16, и настраиваемого при помощи напорных клапанов 17 и 18, создается сила натяжения дополнительной ременной передачи 5, равная по величине и противоположная по направлению силе натяжения ременной передачи 2. При работе из-за различных возмущающих факторов возникают колебания натяжения ременной передачи 2. Эти колебания через ролик 11 регистрируются датчиком 10 и в виде электрических сигналов подаются на второй вход анализатора 9. На первый вход анализатора 9 подаются электрические сигналы от датчика 8, регистрирующего натяжение ременной передачи 5. Особенностью анализатора 9 является то, что в алгоритме его работы заложена функция фазовращателя, т.е. сигналы от датчиков 10 и 8 анализируются по амплитуде и фазе. При возникновении рассогласования в сигналах, анализатор 9 выдает сигнал на систему управления 12 электрогидравлического усилителя 13. При этом происходит смещение следящего золотника 14, и изменяется давление в полостях гидроцилиндра 7, за счет чего корректируется натяжение ременной передачи 5, которое

соответствует натяжению ременной передачи 2. Фаза колебаний подстраивается анализатором 9 таким образом, чтобы сигналы от датчиков 8 и 10 не превышали заданный уровень и находились в противофазе, что обеспечивает устранение изгибных колебаний шпинделя, вызванных ременной передачей 2.

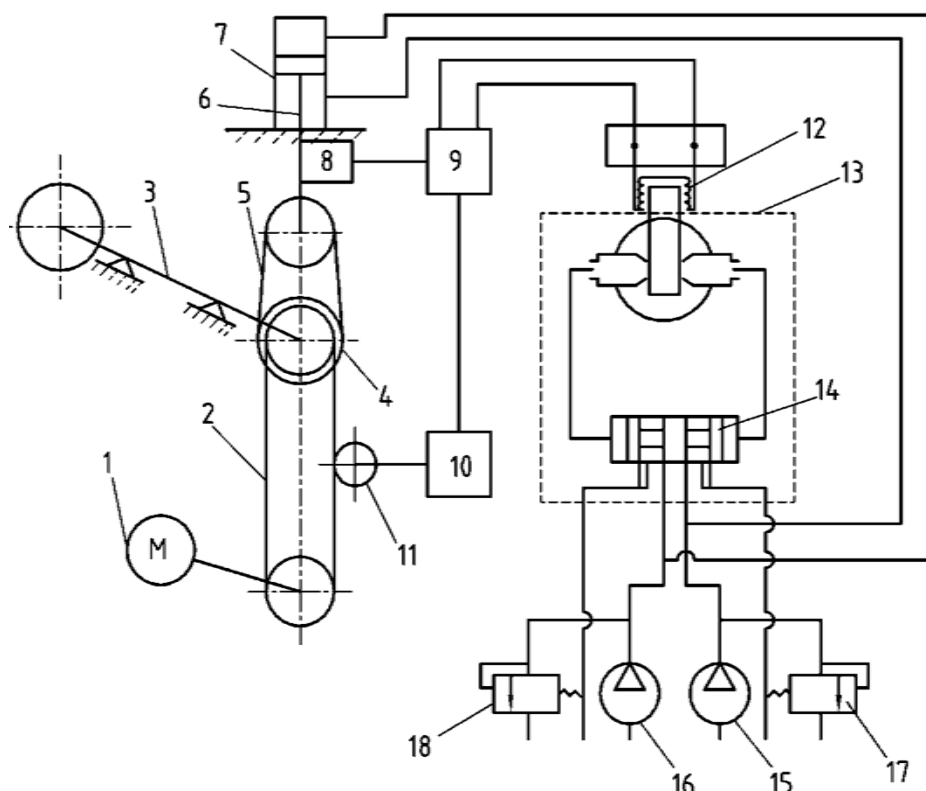


Рис. 1. Гидрокинематическая схема устройства управления изгибными колебаниями: 1 – электродвигатель; 2 – главная ременная передача; 3 – шпиндель; 4 – ведомый шкив; 5 – дополнительная ременная передача; 6 – шток; 7 – гидроцилиндр; 8, 10 – датчик силы; 9 – анализатор; 11 – натяжной ролик; 12 – система управления; 13 – электрогидравлический усилитель; 14 – золотник; 15, 16 – гидронасосы; 17, 18 – напорные клапаны

Сравнительные испытания серийного и экспериментального шпиндельного узла на стенде при частоте вращения шпинделя 146 рад/с показали, что устранение изгибных колебаний шпинделя обеспечивает повышение точности вращения его оси в 2–2,5 раза (рис. 2). При этом форма траектории оси приближается к форме круга, что указывает на отсутствие влияния ременной передачи на точность вращения шпинделя. Существенным образом изменяется состав спектра колебаний шпинделя при увеличении частоты вращения до 346 рад/с.

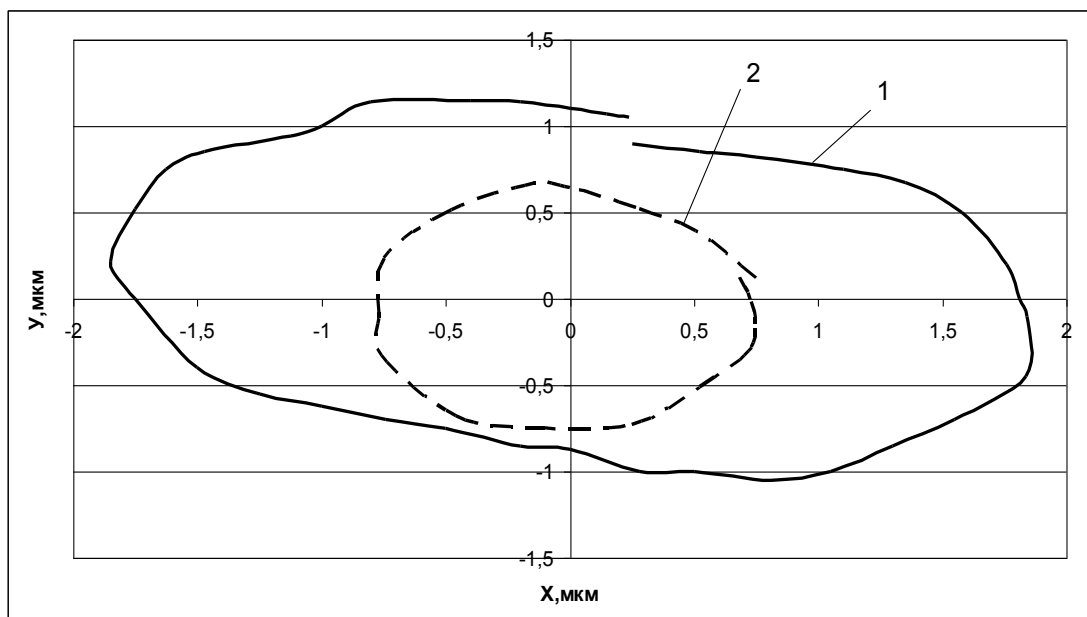


Рис. 2. Траектория оси шпинделя на консоли: 1 – серийный шпиндель; 2 – с экспериментальным устройством

Эффективность применения устройства управления изгибными колебаниями определялась в этом случае по формуле

$$\pm \mathcal{E} = \frac{D_{\text{э}} - D_{\text{ш}}}{D_{\text{с}}} \cdot 100\%,$$

где $D_{\text{ш}}$ – дисперсия колебаний шпинделя серийного исполнения; $D_{\text{э}}$ – дисперсия колебаний шпинделя с экспериментальным устройством; $D_{\text{с}}$ – суммарная дисперсия колебаний шпинделя серийного исполнения.

Спектральный анализ результатов (табл. 1) сравнительных испытаний показывает, что колебания шпинделя имеют ряд пиков в диапазоне частот от 0 до 600 Гц с суммарной дисперсией колебаний в вертикальной плоскости равной $5,88 \text{ мкм}^2$ и в горизонтальной – $6,39 \text{ мкм}^2$. Применение устройства управления изгибными колебаниями снижает суммарную дисперсию колебаний в вертикальной плоскости до $3,41 \text{ мкм}^2$ и в горизонтальной плоскости до $5,21 \text{ мкм}^2$, т.е. колебания шпинделя уменьшаются соответственно на 42 и 18,5 %. На частоте 108 Гц, соответствующей второй собственной частоте шпиндельной системы, дисперсия колебаний в вертикальной плоскости уменьшается на 57,4 %, а в горизонтальной – на 0,58 %. На третьей собственной частоте, находящейся в интервале частот 400–440 Гц, значительно, на 23,5 % уменьшается дисперсия колебаний в горизонтальной плоскости, а в вертикальной уменьшение незначительное, всего лишь на 0,1 %.

Табл. 1. Результаты спектрального анализа сравнительных испытаний шпиндельного узла

№ пика	Колебания в горизонтальной плоскости					Колебания в вертикальной плоскости				
	Серийный шпиндель		Экспериментальный шпиндель			Серийный шпиндель		Экспериментальный шпиндель		
	частота, Гц	$D_{ш,2}$, мкм ²	частота, Гц	$D_{э,2}$, мкм ²	\mathcal{E} , %	частота, Гц	$D_{ш,2}$, мкм ²	частота, Гц	$D_{э,2}$, мкм ²	\mathcal{E} , %
1	54	1,14	54	1,29	+2,35	48	0,1	48	0,14	+0,69
2	108	0,076	108	0,039	-0,58	108	4,55	108	1,22	-57,4
3	162	1,82	162	2,05	+3,4	168	0,74	168	0,96	+3,7
4	228	0,045	-	-	-0,7	228	0,052	222	0,16	+1,86
5	282	0,11	276	0,062	-0,75	330	0,033	330	0,071	+0,66
6	336	0,058	330	1,012	+0,97	390	0,28	390	0,174	+7,9
7	402	2,9	390	1,4	-23,5	438	0,049	444	0,043	-0,1
8	486	0,19	444	0,17	-0,31	492	0,046	492	0,077	+0,53
9	546	0,036	492	0,06	+0,38	546	0,029	546	0,003	-0,45
10	582	0,0098	546	0,15	+0,08	-	-	-	-	-

Эти данные указывают на эффективность использования данного устройства как при низких, так и высоких скоростях вращения шпинделя.

Результаты исследования показывают, что управление изгибными колебаниями шпинделя, вызванными ременной передачей, позволяют повысить точность вращения оси шпинделя и значительно снизить общий уровень вибрации шпиндельного узла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Пуш, А. В.** Шпиндельные узлы. Качество и надежность / А. В. Пуш. – М. : Машиностроение, 1992. – 288с.
2. **Воробьев, И. И.** Ременные передачи / И. И. Воробьев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1979. – 168 с.