

РАЗДЕЛ 2. МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.9.06

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО СОЗДАНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАТЯГА В ПРИВОДЕ РАБОЧЕГО ОРГАНА МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО СТАНКА

А.Н. Гаврилин, А.И. Черкасов, Б.Б. Мойзес, К.В. Мельнов, А.Р. Хайруллин

Цель работы – изучение динамики узлов металлорежущих станков и повышение их надежности посредством применения приспособлений для создания предварительного натяга. Описано гидравлическое устройство создания предварительного натяга в приводе рабочего органа металлорежущего станка. Предложена принципиальная схема устройства, демонстрирующая принцип действия. Приведена методика расчета устройства. Разработана структурная схема устройства, приведено уравнение, позволившее провести расчеты и построить амплитудные спектрограммы. Сделан вывод о перспективности применения разработанного устройства для устранения люфтов в приводе рабочего органа металлорежущего станка.

Ключевые слова: металлообработка, технологическая система, качество обработки, надежность, повышение жесткости, устранение люфтов, виброгашение, гидравлическое устройство.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение качества металлообработки и надежности работы технологической системы «станок-приспособление-инструмент-деталь» (ТС СПИД) всегда является актуальной задачей. Для ее решения существует несколько методов: изменение режимов механообработки (подачи, частоты вращения шпинделя, глубины резания), установка специальных устройств для повышения жесткости, снижения уровня вибраций [1–8] и т.д. Так, например, увеличение жесткости позволяет значительно увеличить долговечность эксплуатации элементов ТС СПИД.

Доминирующим фактором, определяющим точность обработки при всех видах механической обработки, не связанных с использованием размерного или профильного режущего инструмента, в большинстве случаев является жесткость ТС [9].

Одним из наиболее действенных мероприятий по повышению жесткости станка, является устранение люфтов [10].

Основным методом устранения люфтов является создание предварительного натяга, который реализуется на стадии проектирования ТС посредством применения конкретных конструкций узлов, либо применение специальных механизмов для формирования силы натяга F_n . В обоих вариантах сила предварительного натяга F_n приводит к изменению отношения деформация-сила $\frac{a}{\Delta F}$ в меньшую

сторону (рисунок 1). Поэтому при работе ТС условно выделим зоны жесткости:

- малой – без предварительного натяга F_n ;
- высокой – с предварительным натягом F_n .

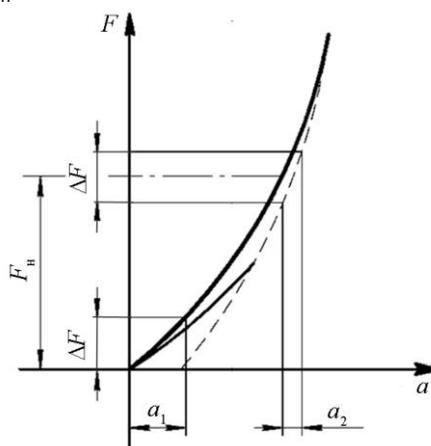


Рисунок 1 – График зависимость между прилагаемой силой и деформацией в приводе ТС

В зоне «малой» жесткости на работу ТС значительное влияние может оказывать люфт в соединениях, снижая качество обработки детали. В зоне «высокой» жесткости люфт выбирается и практически отсутствует. При этом достигается значительное повышение точности и качества обработки детали, повышается время стойкости работы инструмента, а также надежность работы ТС.

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО СОЗДАНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАТЯГА В ПРИВОДЕ РАБОЧЕГО ОРГАНА МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО СТАНКА

КОНСТРУКЦИЯ УСТРОЙСТВА

Известны устройства осуществления натяга за счет подвеса груза [11], однако такое решение увеличивает динамические нагрузки в ТС за счет увеличения инерционности системы.

Существуют решения для создания предварительного натяга при помощи гидропружинов [12], однако из-за ограниченности хода и сложности оперативно изменять силовые характеристики таких пружин применение данных решений отчасти нивелируется.

Разрабатываемое гидравлическое устройство (рисунок 2) отличается простым конструктивным исполнением, высокой надежностью работы призвано повысить жесткость любой ТС СПИД при отсутствии указанных недостатков, а также демпфировать возникающие вибрации, при этом следует отметить возможность управления данным устройством в ходе технологического процесса от устройства числового программного управления (УЧПУ).

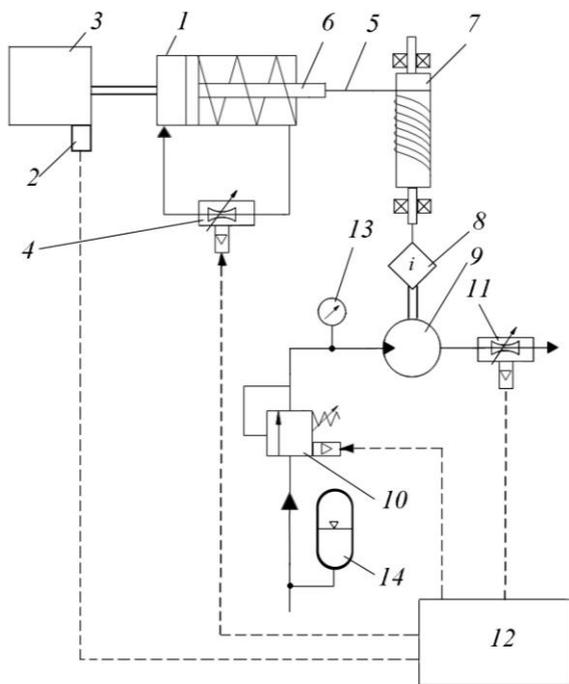


Рисунок 2 – Принципиальная схема устройства предварительного натяга на привод рабочего органа станка

- 1 – гидравлический демпфер; 2 – датчик вибрации; 3 – рабочий орган станка; 4, 11 – регулируемый дроссель; 5 – трос (тяги);
- 6 – шток демпфера; 7 – барабан;
- 8 – планетарный редуктор; 9 – гидромотор;
- 10 – редукционный клапан; 12 – УЧПУ;
- 13 – манометр; 14 – гидроаккумулятор

Устройство содержит демпфер 1, выполненный в виде одноштокового гидроцилиндра. В штоковой полости гидроцилиндра размещена пружина возврата. Датчик вибрации 2 закреплен на рабочем органе станка 3, например, столе. Штоковая и поршневая полости гидроцилиндра соединены между собой магистралями через управляемый дроссель 4. Один конец троса 5 (или иной тяги) закреплен на штоке 6 гидроцилиндра, другой намотан на барабан 7. Барабан 7 зафиксирован на неподвижной части станка и через планетарный редуктор 8 соединен с приводным валом гидромотора 9, который через редукционный клапан 10 посредством магистрали связан с насосом (на схеме не показан). Перед редукционным клапаном 10 установлен гидроаккумулятор 14. На выходе гидромотора 9 установлен регулируемый дроссель 11. Управляемый дроссель 4 и датчик вибрации 2 подключены к устройству числового программного управления 12.

При механообработке на элементы привода рабочего органа станка помимо силы тяжести G действует сила резания F , имеющая постоянную F_{const} и переменную составляющие dF :

$$F = F_{const} \pm dF;$$

$$dF = \sum_{i=1}^n (dF_i \cdot \sin \omega_i t + \varphi_i),$$

где dF_i , ω_i , φ_i – амплитуда, частота и фаза i -ой гармоники.

Составляющая силы dF возникает вследствие переменного сечения среза или прерывистого характера процесса резания (фрезерования). Причем при контурной обработке на станках с числовым программным управлением возникает существенная динамическая сила $F_{ин}$, связанная с наличием инерционной массы рабочего органа:

$$F_{ин} = m_o \cdot a_o,$$

где m_o – масса рабочего органа, Н; a_o – ускорение рабочего органа, m/c^2 .

Указанные переменные факторы негативно сказываются на точности механообработки, времени стойкости инструмента.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ УСТРОЙСТВА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАТЯГА

При работе силы действуют на корпус демпфера 1. При этом действие переменной составляющей сил dF приводит к возникновению пульсирующего потока масла dQ меж-

ду поршневой и штоковой полостями демпфера 1, который, проходя через управляемый дроссель 4, создает демпфирующую силу F_d :

$$F_d = S_{шт} \frac{dQ^2}{K^2} f_{др}^2,$$

где $S_{шт}$ – площадь штока 6 демпфера, m^2 ; dQ – расход потока масла, m^3/c ; K – коэффициент дросселя 4, m^3/H^c ; $f_{др}$ – проходная площадь дросселя 4, m^2 .

Для получения оптимального демпфирования необходимо выполнение условия:

$$\frac{C_{др}}{K_{др}} = f_0, \quad (1)$$

где f_0 – собственная частота колебаний рабочего органа станка, Гц:

$$f_0 = \sqrt{\frac{C_0}{m_0}},$$

C_0 – жесткость рабочего органа станка, Н/м; m_0 – масса рабочего органа станка, кг; C_d – жесткость демпфера, Н/м:

$$C_d = \frac{E \cdot S_{шт}^2}{W_{\Sigma}} + C_{пр},$$

где E – приведенный модуль объемной упругости полостей демпфера, Н/м²; W_{Σ} – суммарный объем воздуха, находящегося под давлением, м³; $C_{пр}$ – жесткость пружины возврата демпфера, Н/м; K_d – коэффициент демпфирования, Нс/м:

$$K_d = \frac{F_d}{V_n},$$

V_n – скорость перемещения поршня демпфера, м/с.

Сделав допущение о нерастяжимости троса 5 или малости величины его деформации по сравнению с деформацией и люфтами подвижных узлов станка, будут справедливы равенства:

$$V_n = V_0, \quad a_n = a_0,$$

где V_0 – скорость перемещения рабочего органа; a_0 , a_n – ускорения рабочего органа и поршня демпфера.

При выполнении условия (1) устройство существенно снизит динамические и ударные воздействия на рабочий орган станка за счет демпфирования.

Требуемое усилие $F_{тр}$ на тросе 5, найдется по формуле:

$$F_{тр} = \frac{q}{2\pi} (p_0 - p_{др}), \quad (2)$$

где q – рабочий объем гидромотора 9, м³/об; p_0 – давление в гидроаккумуляторе 14, Н/м²; $p_{др}$ – давление перед настраиваемым дросселем 11, Н/м².

Формируемое усилие (2) должно превышать вес G рабочего органа станка

$$F_{тр} > G = m_0 \cdot g, \quad (3)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с².

При выполнении условия (3) направление действия усилия $F_{тр}$ на тросе 5 совпадает с направлением силы резания F . Это будет создавать в стыковых соединениях рабочего органа станка постоянный натяг N :

$$N = \frac{F + F_{тр}}{C_0}.$$

В штоковой полости гидроцилиндра демпфера 1 создается давление, пружина возврата демпфера сжимается. Это обеспечивает работоспособность демпфера 1 при больших величинах хода и повышает жесткость элементов рабочего органа станка. Редукционный клапан 10 и дроссель 11 служат для настройки требуемого крутящего момента и скорости вращения вала гидромотора 9.

УЧПУ 12 осуществляет управление величиной проходной площади управляемого дросселя 4 $f_{др}$ в зависимости от скорости перемещения рабочего органа и уровня вибраций, измеренного датчиком 2. Сигналы управления на управляемый дроссель 4 демпфера 1 поступают от УЧПУ.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАТЯГА

Для составления уравнения, описывающего работу устройства составлена структурная его схема (рисунок 3).

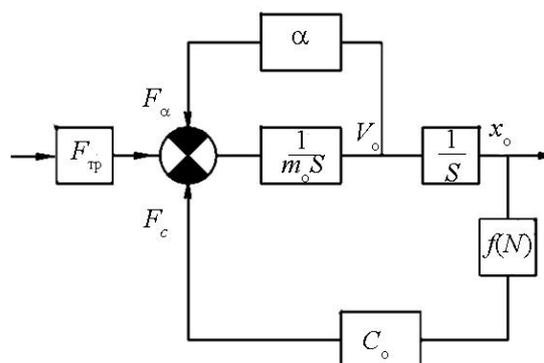


Рисунок 3 – Структурная схема гидравлического устройства создания предварительного натяга: $F_{тр}$ – требуемое усилие; S – оператор Лапласа; α – коэффициент трения; $f(N)$ – звено, характеризующее наличие люфта механического узла

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО СОЗДАНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАТЯГА В ПРИВОДЕ РАБОЧЕГО ОРГАНА МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО СТАНКА

По схеме составлено уравнение (4), позволившее провести расчеты в программном продукте Lab View National Instruments:

$$m_o a_o + \alpha V_o + C_d x_o = F_{тр}, \quad (4)$$

где x_o – величина виброперемещения рабочего органа; $F_{тр}$ – закон изменения требуемого усилия для различных зон жесткости:

- малой – $F_{тр} = F$;
- высокой – $F_{тр} = F + F_{нр}$.

В ходе моделирования получены амплитудные спектрограммы (рисунок 4).

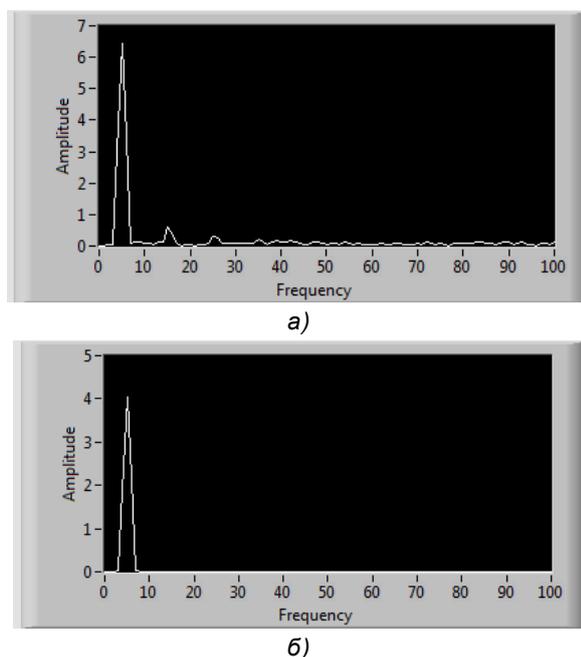


Рисунок 4 – Спектрограммы при жесткости системы:
а) «малой»; б) «высокой»

На первой спектрограмме (рисунок 4, а) различимы посторонние шумы, что объясняется наличием люфта в соединении. Вторая спектрограмма (рисунок 4, б) получена при моделировании с учетом применения демпфирующего устройства (при отсутствии люфта). Она демонстрирует отсутствие шумов.

Результаты моделирования, проведенные в Lab View National Instruments, подтвердили адекватность структурной схемы (рисунок 3) и перспективность применения демпфирующего устройства.

Сравнение спектрограмм позволяет сделать вывод, что наличие люфтов в механизмах станка приводит к росту амплитуды колебаний, которые негативно сказываются на качестве обработки детали [12].

Таким образом, в результате применения устройства создания предварительного

натяга достигается снижение уровня вибрации и, следовательно, повышение качества обработки, а эксперименты [11–14] демонстрируют также снижение уровня шума в ТС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврилин, А. Н. Метод оперативной диагностики металлорежущего станка для обработки заготовок типа тел вращения / А. Н. Гаврилин, Б. Б. Мойзес // Контроль. Диагностика. – 2013. – № 9. – С. 81–84.
2. Гаврилин, А. Н. Конструктивные методы повышения виброустойчивости металлорежущего оборудования / А. Н. Гаврилин, Б. Б. Мойзес, А. И. Черкасов // Контроль. Диагностика. – 2013. – № 13. – С. 82–87.
3. Гаврилин, А. Н. Метод снижения уровня вибраций при механической обработке / А. Н. Гаврилин // Контроль. Диагностика. – 2013. – № 11. – С. 23–26.
4. Gavrilin, A. Constructive and processing methods of reducing vibration level of the metalworking machinery elements / A. Gavrilin, B. Moyzes, O. Zharkevich // Journal of Vibroengineering. – 2016. – № 17 (7). – P. 3495–3504.
5. Gavrilin, A. Mobile complex for rapid diagnosis of the technological system elements / A. Gavrilin, B. Moyzes, A. Cherkasov, K. Mel'nov, X. Zhang // MATEC Web of Conferences. – 2016. – № 7. – P. 01078.
6. Кораблев, П. А. Точность обработки на металлорежущих станках в приборостроении / П. А. Кораблев. – М.: Машгиз, 1962. – 225 с.
7. Мазиков, С. В. Метрологическое обеспечение измерителя емкости сар-10.1 / С. В. Мазиков, Г. В. Вавилова // Ползуновский вестник. – 2016. – № 2. – С. 65–68.
8. Карбина, Ю. С. Процесс фоторегистрации в производственном цикле радиоэлектронной техники / Ю. С. Карбина, И. В. Плотникова, О. В. Гальцева, Е. Ю. Елисеева // Ползуновский вестник. – 2016. – № 2. – С. 139–143.
9. Аврутин, С. В. Рациональная работа фрезеровщика: производственно-практическое издание / С. В. Аврутин. – М.: Машгиз, 1962. – 312 с.
10. Пат. СССР 420408, МКП В 23В 47/00, В 23Q 5/00. Гидромеханическое устройство для уравнивания подвижных узлов металлорежущих станков / Кошелев Н. В. – Оpubл. 25.03.74, Бюл. № 11. – 3 с.
11. Гаврилин, А. Н. Модернизация устройства для разгрузки ходового винта и привода отвеса подвижных элементов шлифовального станка / А. Н. Гаврилин, А. О. Юрьев, В. В. Поздеева // Современные техника и технологии: XI международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Труды в 2-х т. – Вып. 11, Т. 1 – Томск, 28 марта-1 апреля 2005. – Томск: Изд. ТПУ.
12. Болдин, Л. А. Металлорежущие станки. Вопросы эксплуатации / Л. А. Болдин. – М.: МАШГИЗ, 1957. – 260 с.
13. Гаврилин, А. Н. Диагностика технологиче-

ских систем : учебное пособие. Часть 1 / А. Н. Гаврилин, Б. Б. Мойзес. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 120 с.

14. Гаврилин, А. Н. Диагностика технологических систем : учебное пособие. Часть 2 / А. Н. Гаврилин, Б. Б. Мойзес; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 128 с.

Гаврилин Алексей Николаевич, канд. техн. наук, доцент кафедры технологии машиностроения и промышленной робототехники Института кибернетики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», e-mail: tom-gawral@list.ru.

Черкасов Александр Иванович, старший преподаватель кафедры технологии машиностроения и промышленной робототехники Института кибернетики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», e-mail: acherkasov@tpu.ru.

Мойзес Борис Борисович, канд. техн. наук, доцент кафедры физических методов и приборов контроля качества Института неразрушающего контроля ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», e-mail: mbbb@tpu.ru.

Мельнов Кирилл Вячеславович, магистрант кафедры технологии машиностроения и промышленной робототехники Института кибернетики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», e-mail: kvm11@tpu.ru.

Хайруллин Александр Римович, магистрант кафедры технологии машиностроения и промышленной робототехники Института кибернетики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».