

Keywords: ultrasonic testing, long products, volume waves, defect, normal modes, mode, the transducer.

УДК 621.9.06

О. С. КРОЛЬ, канд. техн. наук, проф., Восточноукраинский национальный университет им. В.Даля, Луганск;

Е. И. БУРЛАКОВ, студент, Восточноукраинский национальный университет им. В.Даля, Луганск

МОДЕЛИРОВАНИЕ ШПИНДЕЛЬНОГО УЗЛА ОБРАБАТЫВАЮЩЕГО ЦЕНТРА

Представлена процедура комплексного моделирования формообразующего шпиндельного узла обрабатывающего центра сверлильно-фрезерно-расточного типа с использованием параметрического моделирования в интегрированной САПР АРМ WinMachine. Сформирован статический формуляр, как средство экспресс-анализа и моделирования конструкции шпиндельного узла.

Ключевые слова: шпиндель, параметрическая модель, поперечная компоновка, статический формуляр.

Введение

При обработке сложных деталей увеличивается доля программно-управляемых станков с устройствами автоматической смены инструмента (АСИ) и заготовки (АСЗ), получивших название обрабатывающих центров (ОЦ). Эффективность процесса создания оборудования во многом будет зависеть от уровня используемых средств построения моделей проектируемых объектов, выбор которых представляет достаточно сложную процедуру. Требования к конструкциям формообразующих узлов различаются в зависимости от их назначения, при этом существует разнообразие групп факторов, влияющих на эффективность принимаемых проектных решений. Наряду с конструктивными факторами: типом шпинделя (с ременной передачей или мотор-шпиндель); подшипниками (тип, количество, схем установки); системой зажима инструмента, на эффективность проектируемого шпиндельного узла влияют структурные факторы, такой как пространственная компоновка привода главного движения (ПГД).

Для всего разнообразия станков определенной группы невозможно использовать одну-две конструкции ПГД. Чаще всего приходится либо разрабатывать новую конструкцию, применяя методы структурной оптимизации, либо создавать новый вариант уже известной конструкции-прототипа с помощью метода параметрической оптимизации.

Особенностью автоматизированной процедуры проектирования ПГД является множество альтернативных вариантов компоновки и необходимость корректировки и доработки с учетом специфических особенностей объекта проектирования. При этом эффективность проектирования ПГД зависит от принятой поперечной компоновки (свертки), в том числе от положения выходного вала.

Исследовать влияние структурных факторов на конструкцию шпинделя целесообразно с помощью интегрированных САПР. Кооперация двух динамически развивающихся систем КОМПАС 3D и АРМ WinMachine открывает новые возможности для построения разнообразных моделей формообразующих узлов и их исследование методами конечных элементов.

©О. С. КРОЛЬ, Е. И. БУРЛАКОВ, 2013

Анализ основных достижений і публикаций

При конструировании ПГД стремятся упростить конструкцию и сделать ее более компактной за счет уменьшения числа ступеней, ограничения передаточных чисел и выбора рациональной поперечной компоновки. Известные математические модели компоновок учитывают, в основном, информацию о взаимосвязи между блоками станка, а их размещение в пространстве представлено в косвенной форме. Для многошпиндельных токарных автоматов предложено формальное описание в виде расширенных структурных формул, дающих представление о положении шпиндельных блоков в общей компоновке станка [1]: Вопросы выбора квазиоптимального компоновочного решения (использование центральной колонны для размещения вертикальных силовых агрегатов) для агрегатных станков и их влияние на повышение жесткости технологической системы рассмотрены в работе [2]. Для ОЦ сверлильно- фрезерно-расточного типа станков наблюдается влияние положение выходного вала привода главного движения на работоспособность шпиндельного узла. Множество вариантов пространственных компоновок и их влияние на нагружение шпиндельного узла затрудняет проведение процедуры оценки выходных параметров при изменении компоновочных факторов. Ситуацию может улучшить применение инструментария параметризации в среде САПР АРМ WinMachine [3], в которой не используется дорогой заимствованный параметризатор, а реализуется собственное программное обеспечение для создания чертежно-графического параметрического редактора АРМ Graph, который может использоваться как в составе системы в целом, так и самостоятельно.

Еще одной характерной задачей для данного типа ОЦ является необходимость расширения технологических возможностей станка при использовании разнообразной оснастки. В этом случае целесообразно использовать известный подход, основанный на создании статических формуляров шпиндельных узлов [4]. Он эффективен тем, что для определенного типоразмера шпиндельного узла решение записывается только один раз в виде статического формуляра, а в зависимости от параметров инструментального блока решению конкретизируется.

Цель исследования, постановка задачи

В качестве цели рассматривается повышение уровня проектных решений в процессе создания конструкции шпиндельного узла ОЦ в условиях многовариантного проектирования.

Для достижения данной цели решаются взаимосвязанные задачи, которые формулируются следующим образом:

1. Разработать такую параметрическую модель поперечной компоновки ПГД, которая обеспечивает максимальную жесткость проектируемого станка (его шпиндельного узла).

2. Выполнить экспресс-оценку жесткости двухопорного шпиндельного узла с помощью разработанного статического формуляра и предложить на его основе процедуру моделирования шпинделя при различных вариантах инструментальной оснастки.

Материалы исследований

Рассмотрим конструкцию ПГД (рис.1) обрабатывающего центра ОЦ200 с горизонтальным шпинделем.

Обрабатывающий центр ОЦ 200 имеет порталную компоновку с продольно подвижными крестовыми салазками, по которым поперечно перемещается порталная стойка, несущая вертикально-подвижную шпиндельную бабку. В приводе

главного движения ОЦ применяется регулируемые приводы с двигателем постоянного тока и тиристорным преобразованием напряжения. Необходимость регулирования частоты вращения при постоянном моменте в одной части диапазона изменения, и с постоянной максимально допустимой мощностью в другой приводит к двухзонному регулированию. Движение в приводе главного движения передается от электродвигателя через зубчатую ременную передачу на входной вал коробки скоростей (КС), далее через прямозубую зубчатую передачу на выходной вал, который в свою очередь, передает движение на шпиндель станка через зубчатую муфту.

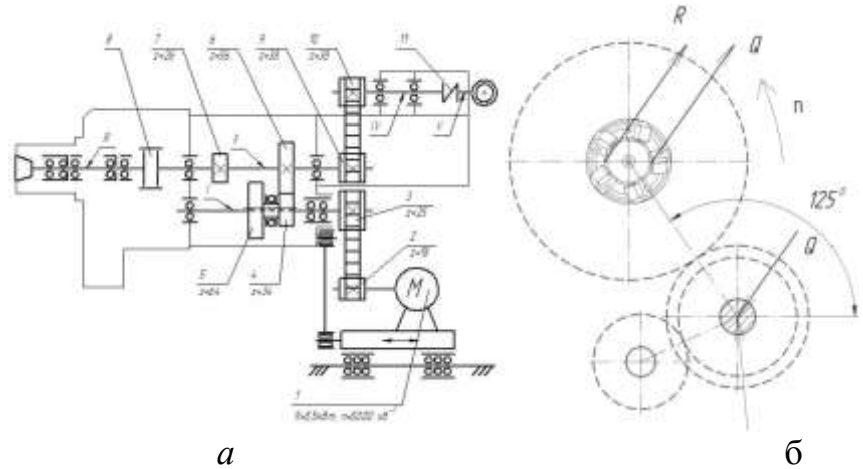


Рис. 1 – Привод главного движения ОЦ: а – кинематическая схема; б – поперечная компоновка

Эффективность проектирования КС зависит от принятой поперечной компоновки (свертки), в том числе от положения выходного вала. При определении пространственного положения зубчатых колес передающих вращающий момент на шпиндель станка необходимо учитывать что, параллельность и однонаправленность силы резания R и результирующей силы Q в зубчатом зацеплении «Выходной вал – шпиндель» (рис.1,б) обеспечивает максимальную жесткость шпиндельного узла (минимальный прогиб переднего конца шпинделя).

Множество вариантов конструктивных исполнений ПГД и взаимного расположения деталей привода с одной стороны, а также необходимость повышения производительности труда проектировщика с другой делает эффективным использование аппарата параметрического моделирования. Этот аппарат, позволяющий уменьшить время разработки новой или модификации известных конструкций, а также задействовать оптимизационные решения, реализован в САПР АРМ WinMachine, [3]. Механизм параметризации характеризуется наличием взаимосвязей и ограничений между геометрическими объектами, составляющими эту конструкцию (в отличие от непараметрического). При этом часть указанных взаимосвязей и ограничений может формироваться автоматически при вводе графической информации, а остальные назначаться пользователем самостоятельно.

Для оптимизации поперечной компоновки ПГД обрабатывающего центра ОЦ200 разработана программа построения параметрической модели на базе синтаксиса АРМ WinMachine, которая представлена в окне переменных системы (рис.2)

Переменная	Выражение	Значение	Комментарий
dn2		100	
dn3		216	
dn4		88	
dv		30	
dv1		40	
dv1		25	
f		0	
n	1	1	
a0		62	
a1	$(70+a0)/n+(90-a0)/n$	132	
a2	$90-a0$	29	
a		140	
a3	$180(a2+a)$	12	
a4	$(a3+20)/n+(180+a3)/n$	32	
kolos	dv/45	0	угол наклона шлицев резания должен быть >4

Рис. 2 - Окно переменных АРМ WinMachine

На базе данной параметрической модели разработана оптимальная компоновка

ПГД по критерию максимальной жесткости (шпиндельное колесо показано штриховой линией), отличающаяся от базовой компоновки (шпиндельное колесо изображается основной линией) пространственным расположением валов (рис.3).

Для исследования шпиндельного узла по критерию жесткости воспользуемся методом начальных параметров в матричной постановке.

Формообразующие узлы обрабатывающих центров представляют собой замкнутые динамические системы, использующие различные комплекты вспомогательного инструмента. Качество изготавливаемых изделий во многом зависит от конструктивных характеристик инструментальной оснастки, в частности от ее основных размеров: длины консоли l_k , диаметра консоли d_k и др.

Для исследования жесткости формообразующих узлов необходимо сформировать аналитические зависимости выходных характеристик шпиндельного узла (ШУ) от влияющих на него параметров. Такие зависимости входят в упругодеформационную модель двухопорной конструкции ШУ с набором инструментальных блоков (консоль) различного типоразмера. Особенностью проектируемого узла является наличие двух компонентов:

унифицированный двухопорный шпиндельный узел, применяемый в различных обрабатывающих центрах сверлильно-фрезерно-расточного типа, переменный компонент, представленный в виде модульных инструментальных блоков (инструментальной оснастки), настраиваемый на различную номенклатуру изготавливаемых изделий.

Многообразие инструментальной оснастки и ограниченное количество конструктивных вариантов ШУ (характеризуемых длиной межопорной части l , длиной консольной части l_1 , и диаметром d) делает целесообразным выделение этих двух компонент в разрабатываемой модели.

Первый компонент представлен в упругодеформационной модели в виде статического формуляра $\delta = (\Delta_2 + \Delta_3)$, т.е. в виде аналитической зависимости перемещения опор Δ_2 и собственно шпинделя Δ_3 от длины консоли l_k . Для его построения используется система из четырех линейных уравнений с граничными условиями [4, 5]. Для станка модели ОЦ200ПФ4В в математической среде MAPLE получены в символьной форме (с использованием синтаксиса MAPLE) величины реакций и моментов на задней и передней опорах $\{R_z, R_p, m_z, m_p\}$:

$$\begin{aligned} R_z &:= -.3603202376e^{-1}-.2452973750e^{-2}*l_k; \\ R_p &:= 1.036032024+.2452973750e^{-2}*l_k; \\ m_z &:= 22.41221202+.3580700476e^{-1}*l_k; \\ m_p &:= 65.63360739+.4907690615*l_k. \end{aligned}$$

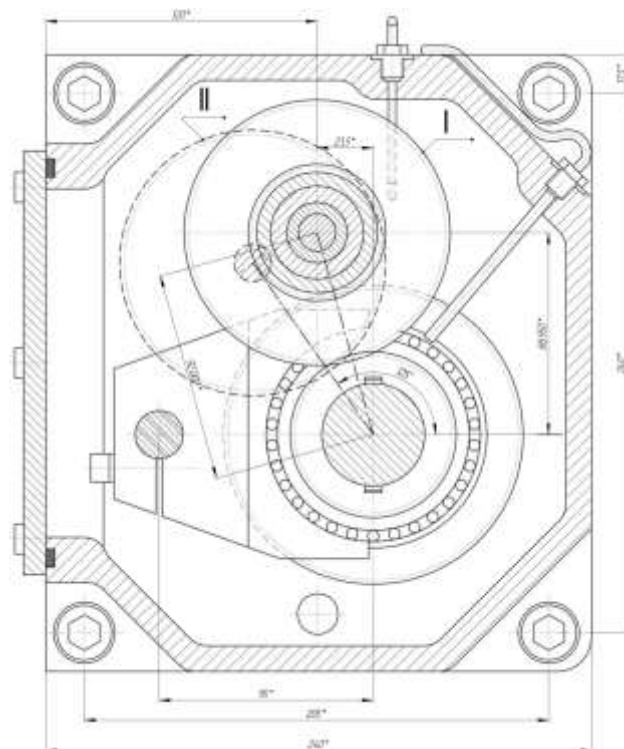


Рис. 3 - Пространственные компоновки ПГД

В этом случае статический формуляр представляет собой

$$\delta := .3938342093e^{-6} + .4318552804e^{-7} * l_k + .6804730068e^{-9} * l_k^2. \quad (1)$$

Вычисленные значения реакций позволяют определить прогиб $y(x)$ и угол поворота $y'(x)$ на правом конце шпинделя ($x=l+l_1$) в функции от длины l_k условной консоли. В таблице представлены основные линейные размеры и результаты промежуточных расчетов податливости опор.

Таблица - Параметры жесткости шпиндельного узла

Исходные данные							Статический формуляр, δ мм/Н
Модель	Размеры, мм		Податливость ($\times 10^{-8}$), мм/Н				
	l	l_1	A_z	A_p	a_z	a_p	
ОЦ200	193	95	439	432	0,06	0,06	$(39,38 + 4,32 l_k + 0,068 l_k^2) 10^{-8}$

Конструктору часто иной наладки. Это можно сделать с помощью номограммы, состоящей из двух частей: статического формуляра δ (рис. 4, а), построенного по формуле (1) и графика податливости консоли Δ_1 (рис. 4, б), построенного для консолей постоянного сечения и различных значений диаметров d_k . Консоль рассматривается требуется быстро произвести статический расчет той или как балка, защемленная в опорном сечении и нагруженная в месте резания единичной силой. На рис. 4, а представлены, в качестве иллюстрации, податливости шпинделей станков подобного типа.

Результаты исследований

Разработана параметрическая модель поперечной компоновки привода главного движения обрабатывающего центра сверлильно-фрезерно-расточного типа с использованием критерия максимальной жесткости. Эта модель может быть использована для широкой гаммы станков подобного типа. На базе этой модели построена поперечная компоновка конкретного станка ОЦ 200ПФ4В повышенной жесткости. Построен статический формуляр двухопорного шпиндельного узла ОЦ с помощью метода начальных параметров в матричной постановке. Дана оценка влияния инструментальной оснастки в зависимости от длины вылета и диаметра инструментального блока.

Выводы

Проведенные исследования показывают влияние на эффективность конструкции привода главного движения компоновочного фактора и, в частности, расположения выходного вала относительно шпинделя. При этом использование САПР АРМ WinMachine позволяет это осуществить на уровне параметрической модели и дать в

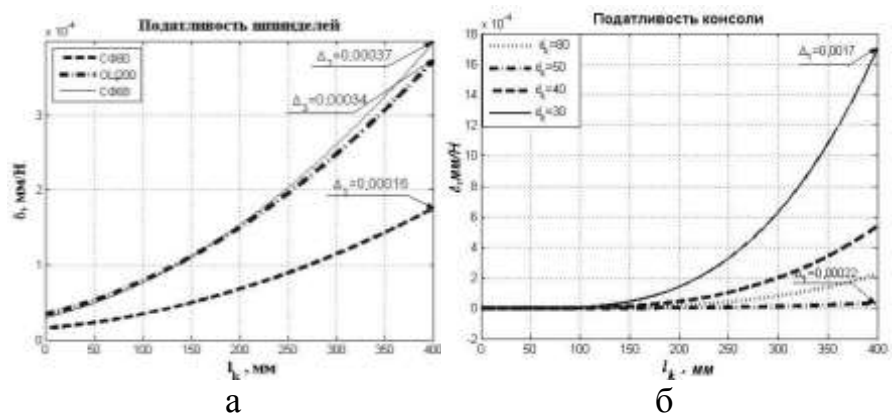


Рис.4 - Податливость шпиндельного узла: а – податливость шпинделя обрабатывающего центра (статический формуляр); б – податливость инструментального блока (консоли)

экспресс-режиме количественную оценку изменения параметров жесткости шпиндельного узла. Предложенная процедура исследования податливости узла «шпиндель - инструментальный блок повышает производительность труда проектировщика и позволяет распространить данную процедуру на расширенный комплект оснастки обрабатывающих центров.

Список литературы: 1. Кузнецов Ю. Н. Аспекты прогнозирования развития конструкций многошпиндельных токарных автоматов / Ю. Н. Кузнецов, Р. А. Скляр // Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». – 1997. – Серия Машиностроение, № 32. – С. 17-22. 2. Алехин В. А. Об оптимальной концентрации операций при ограниченном объеме зоны обработки в агрегатированных технологических системах / В. А. Алехин, А. А. Пермяков, О. Ю. Приходько // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 1998, №27. – С. 120-124. 3. Замрий А. А. Практический учебный курс CAD/CAE АРМ WinMachine. Учебно-методическое пособие/ А. А. Замрий . – М.: Изд-во АПМ, 2007.– 144 с. 4. Попов В. И. Динамика станков / В. И. Попов, В. И. Локтев. - Киев: Техника, 1975.-136 с. 5. Кроль О. С. Исследование динамической системы шпиндель-опрака-инструмент фрезерного станка / О. С. Кроль // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 2000, №95. – С. 163-178.

Надійшла до редколегії 28.02.2013

УДК 621.9.06

Моделирование шпиндельного узла обрабатывающего центра/ О. С. Кроль, Е. И.

Бурлаков // // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. - № 11 (985). – С. 33-38. – Бібліогр.: 5 назв.

Надана процедура комплексного моделювання формоутворюючого шпиндельного вузла обробного центру свердлильно-фрезерно-розточного типу з використанням параметричного моделювання в інтегрованої САПР АРМ WinMachine. Сформован статичний формуляр, як засіб експресс-анализу и моделювання конструкції шпиндельного вузла.

Ключові слова: шпиндель, параметрична модель, поперечна компоновка, статичний формуляр.

The presented procedure of complex modeling shape form of the spindle's node processing centre drill-milling-boring of the type with use of parametric modeling in integrated CAD АРМ WinMachine. It is formed state card, as facility express-analysis and modeling to designs spindle's node.

Keywords: spindle, parametric model, transverse arrangement, state card.