

СЕКЦИЯ I
АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ. МЕХАТРОНИКА.
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ПРОГРАММНЫЕ
СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ

УДК 621.822.174:681.7.054.43

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ СРЕДСТВАМИ САПР ДИНАМИЧЕСКОЙ
УСТОЙЧИВОСТИ ШПИНДЕЛЯ ВВЕДЕНИЕМ ТАРИРОВАННОЙ
НЕУРАВНОВЕШЕННОСТИ НА 3D-МОДЕЛИ ЕГО РОТОРА

В. Е. Брешев, Е. В. Синдеева, А. Ю. Николаев

*ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет
имени Владимира Даля», Российская Федерация*

Разработан метод исследования динамической устойчивости шпинделя в режиме проведения компьютерного имитационного моделирования вращения его ротора на упругих опорах и при действии заданных динамических нагрузок.

Ключевые слова: динамическая устойчивость, шпиндель, компьютерное моделирование, ротор, динамическая нагрузка.

A CAD-BASED METHOD FOR STUDYING SPINDLE DYNAMIC
STABILITY BY INTRODUCING CALIBRATED UNBALANCE
ON A 3D MODEL OF ITS ROTOR

V. E. Breshev, E. V. Sindeeva, A. Yu. Nikolaev

Vladimir Dahl Luhansk State University, the Federation Russian

A method has been developed to investigate the dynamic stability of a spindle by performing computer simulation modeling of its rotor rotation on elastic bearings under specified mechanical loads.

Keywords: dynamic stability, spindle, computer modeling, rotor, dynamic load.

Для обеспечения надежной работы шпинделей, выполняющих прецизионную механическую обработку различных материалов, особенно на высокоскоростных режимах, является принципиально важным исследование их динамической устойчивости. Динамическая система шпинделя и станка в целом испытывает при функционировании действие переменных сил и моментов, приводящих к возникновению колебательных процессов и вибраций. Для надежной работы технологического оборудования важно, чтобы возникающие колебания находились в области допустимых амплитуд, не оказывали влияния на качество механической обработки и тем более не приводили к возникновению явления резонанса [1–3].

Целью исследований является разработка метода исследования динамической устойчивости шпинделя в режиме проведения компьютерного имитационного моделирования вращения его ротора на упругих опорах и при действии заданных динамических нагрузок.

Метод позволяет на стадии проектирования протестировать трехмерную модель шпинделя на динамическую устойчивость в условиях различных скоростных режимов и динамических нагрузок. Полученные результаты динамического анализа можно использовать для определения или уточнения конструктивных параметров, технологических и эксплуатационных условий работы шпинделя, при которых будет обеспечена его динамическая устойчивость.

Для оценки динамической устойчивости необходимо в процессе исследований определить амплитуды поперечных (или других) колебаний ротора на различных режимах вращения и при действии возмущающих сил, моделируя разгон ротора и прохождение резонансных областей. Затем в каждом расчетном случае необходимо сопоставить рассчитанные амплитуды поперечных колебаний ротора со значениями допустимого радиального смещения опорных поверхностей подшипников или концевое участка ротора, где закрепляется инструмент.

Разработанный метод исследования средствами САПР динамической устойчивости шпинделя состоит в последовательном решении следующих задач:

- выполнении предварительного расчета характеристик подшипников – жесткости и несущей способности – в соответствии с требованиями технического задания и условиями эксплуатации шпинделя [2–4];
- разработке 3D-модели шпинделя на подшипниках заданного типа, точно соответствующей конструкции проектируемого шпинделя;
- разработке в САПР виртуальной динамической модели ротора шпинделя с установкой подшипников, имеющих требуемые (расчетные) характеристики [4];
- выполнении на основе динамической модели расчетов собственных частот колебаний ротора на заданных подшипниках в программах САПР, что позволит определить наиболее опасные резонансные области функционирования шпинделя, когда собственные частоты совпадают с частотами вынужденных колебаний (возникающих от действия внешних сил резания, сил дисбаланса вала и др.);
- введении тарированной неуравновешенности (дисбаланса) трехмерной модели ротора для моделирования внешних динамических нагрузок, зависящих от частоты вращения и вызывающих поперечные колебания ротора при вращении;
- выполнении средствами САПР виртуального разгона и вращения ротора при действии динамических нагрузок от введенной неуравновешенности с определением амплитуд поперечных колебаний ротора на различных режимах вращения, включая попадание в области резонансных частот вращения [1, 4];
- определении конструктивных, технологических и эксплуатационных условий, при которых сохраняется динамическая устойчивость ротора и работоспособность шпинделя.

Таким образом, для имитации переменной динамической нагрузки в 3D-модель ротора нами был введен искусственный тарированный дисбаланс. Он позволил задать заранее известные внешние возмущающие силы и изменять их в ходе исследований.

Применение данного метода при исследовании шпинделя для шлифования монокристаллов показало, что при частотах вращения до 10000 об/мин амплитуды колебаний, вызванные неуравновешенностью (дисбалансом) не превышают 0,06 мкм, что вполне приемлемо для выполнения шпинделем высокоточной механической обработки. Частота вращения ротора 10000 об/мин является закритической, потому что для ее достижения необходимо пройти критическую область резонанса, которая возникает при частоте вращения 5955,6 об/мин. Условия ее устойчивого прохождения также были исследованы предложенным методом и учтены при проектировании шпинделя [1].

Разработанный и апробированный метод исследования динамической устойчивости введением тарированной неуравновешенности позволяет на стадии проектирования – в режиме имитационного компьютерного моделирования – проверить динамическую устойчивость шпинделей и определить условия их надежной эксплуатации. Метод является универсальным и применим для различных роторных машин, в которых используются подшипниковые опоры различных типов.

Л и т е р а т у р а

1. Брешев, В. Е. Алгоритм исследования динамических процессов в технологическом оборудовании на газостатических подшипниках / В. Е. Брешев, Ю. С. Долженко // Транспортное машиностроение. – 2025. – № 1 (37). – С. 6–14.
2. Сипенков, И. Е. Прецизионные газовые подшипники / И. Е. Сипенков [и др.]. – СПб. : ГНЦ РФ ЦНИИ Электроприбор, 2007. – 504 с.
3. Brian Rowe, W. Hydrostatic, Aerostatic, and Hybrid Bearing Design / W. Brian Rowe. – Oxford, 2012. – 334 с.
4. Брешев, В. Е. Развитие теории и методов проектирования приводов бесконтактного типа с комбинированным и пассивным обеспечением устойчивости : монография / В. Е. Брешев. – Луганск : Изд-во ЛГУ им. В. Даля, 2016. – 208 с.

УДК 621.9

ПЛАНЕТАРНОЕ ТОЧЕНИЕ НЕКРУГЛЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В. А. Данилов

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Рассмотрена кинематическая структура станка с функцией планетарного точения и его структурная схема для точения круглых и некруглых поверхностей.

Ключевые слова: некруглые поверхности, схема обработки, планетарное точение, комплексная обработка, точение.

PLANETARY TURNING OF NON-CIRCULAR SURFACES

V. A. Danilov

Belarusian National Technical University, Minsk

This article examines the kinematic structure of a planetary turning machine and its structural diagram for turning round and non-circular surfaces.

Keywords: non-circular surfaces, machining diagram, planetary turning, complex machining, turning.

Профилирование некруглой цилиндрической поверхности резанием возможно двумя согласованными вращательными движениями, образующими формообразующее движение Φ_v , (B_1B_2). В зависимости от распределения движений B_1 и B_2 между режущим инструментом и заготовкой возможны следующие схемы обработки: одно движение сообщается инструменту, другое – заготовке (полигональное точение); оба движения сообщаются инструменту, совершающему планетарное движение вокруг неподвижной заготовки; оба движения сообщаются заготовке (планетарное точение). Технологическим преимуществом схемы планетарного точения является возмож-