

Рис. 10. Фрагменты спектров виброускорений на корпусе коробки передач с оригинальными шестернями и при установке на 2-м валу шестерни с локальным дефектом зуба (сверху вниз)

Безразборная диагностика сложных зубчатых передач и приводов одновременно по кинематическим и виброакустическим критериям позволяет оценивать не только общее техническое состояние объекта, но и основные элементарные технологические и эксплуатационные погрешности зубчатых колес, а также эксплуатационные характеристики передач, реализовать более совершенные методы оценки динамических явлений и плавности работы, повышая тем самым их надежность при эксплуатации.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Jock, Ivan V. Technological defects of cylindrical gear wheels and their diagnostics on a parameter of kinematic error / Ivan V. Jock, Alexander V. Dragan, Andrew S. Scorhodov, Valery A. Chudovski // Tenth World Congress on the Theory of Machine and Mechanisms – Oulu University. – Oulu, Finland, 1999. – Vol. 6. – P. 2435–2439.
2. Берестнев, О.В. Аналитические методы механики в динамике приводов / О.В. Берестнев, А.М. Гоман, Н.Н. Ишин – Мн.: Наука и техника, 1992. – 238 с.
3. Драган, А.В. Новые аппаратно-программные средства для исследования и диагностики механических систем / А.В. Драган,

И.П. Стецко, Д.А. Ромашко, Н.В. Левкович // Вестник БрГТУ. – Машиностроение. – 2006. №4(40). – С. 13–18.

4. Драган, А.В. Диагностика зубчатых передач и механизмов по кинематическим параметрам // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2001. – №4. – С. 2–6.
5. Драган, А.В. Исследование взаимосвязи геометрических и кинематических параметров зубчатых передач с динамическими процессами при их работе // Вестник Брест. гос. техн. ун-та. – 2011. – № 4.
6. Драган, А.В. Оценка плавности работы прямозубой зубчатой передачи по данным кинематического контроля // Вестник Брест. гос. техн. ун-та. – 2000. – № 4. – С. 2–6.
7. Ишин, Н.Н. Опыт использования метода синхронного накопления для вибродиагностики трансмиссионных систем автотракторной техники / Н.Н. Ишин, А.С. Скороходов, В.С. Александрова, А.В. Драган [и др.] // Энергосберегающие технологии и технические средства в сельскохозяйственном производстве: доклады Международной научно-практической конференции. – Минск: БГАТУ, 2008. – С. 351–355.

Материал поступил в редакцию 12.12.12

DRAGAN A.V., OMES D.V. New methods and means of gear mechanism diagnostics on kinematics and vibration criteria

Diagnostics on a signal of vibration concerns to such methods, which ensures high efficiency and reliability of evaluation of technical state of toothed drives. For its realization it was the problem to solve, to discover in an inspected signal the necessary information permitting with a high degree of reliability to evaluate a condition of object and to reveal and to recognize the appeared defects. Taking into account a perspective of the given direction the modern diagnostics complex and methods of diagnostic were created for a solution of the most complex problems of diagnostics of gear transmission. They also are effective at performing of research and experimental – design efforts in the field of designing, production and operation of gearing and gear mechanism.

УДК 621.9.06

Горбунов В.П., Касьян Л.В.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СМЕЩЕНИЯ ОСИ ШПИНДЕЛЯ ГОРИЗОНТАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СИЛОВЫХ И ТЕПЛОВЫХ ФАКТОРОВ

Введение. При формировании параметров точности обрабатываемой детали решающее значение имеет точность станка, каждый узел которого вносит свою долю в погрешность при обработке. Наиболее ответственным узлом станка является шпиндельный узел

Горбунов Виктор Петрович, к.т.н., доцент, зав. кафедрой машиноведения Брестского государственного технического университета. Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Касьян Леонид Викторович, магистр технических наук, инженер СП ОАО «Газоаппарат».

Машиностроение

(ШУ), всегда и непосредственно участвующий в процессе формообразования. На его долю приходится от 50 до 80% погрешностей в общем балансе точности станка [1]. Шпиндельный узел в первую очередь воспринимает эксплуатационные нагрузки и подвергается воздействию факторов различной природы, скорости и интенсивности, которые изменяют пространственное положение оси шпинделя. Неконтролируемое смещение оси шпинделя приводит к ухудшению показателей геометрической точности обрабатываемой детали, таких как отклонения формы, точность линейных размеров, отклонения расположения поверхностей, позиционные отклонения, не оказывая при этом существенного воздействия на показатели точности микроуровня. Поэтому в процессе эксплуатации станка необходимо обеспечить не только его высокую точность начальной обработки, но и сохранение ее в течение длительного периода времени работы. Это характеризуется параметрической (точностной) надежностью. Причем выход параметра заданной точности (выбранного для конкретного вида обработки и оборудования) за допустимые пределы относится к параметрическим отказам станка и считается технологическим отказом системы.

Требования повышения точности при механической обработке могут достигаться либо усовершенствованием конструкции, что решается на стадии его проектирования, либо управлением состояния станка, который находится в эксплуатации. Причем и в первом и втором случаях актуальным является вопрос моделирования различных воздействий с возможным дальнейшим прогнозированием изменения точности станка и управлением его состоянием.

Цель работы. Целью работы является разработка методики оценки состояния шпиндельного узла металлорежущего станка путем моделирования воздействия на него энергетических факторов, возникающих в процессе работы станка, определение мероприятий по повышению параметрической надежности станка и снижению брака при изготовлении деталей.

В процессе работы ШУ в первую очередь воспринимает энергетические нагрузки различной скорости и интенсивности, основными из которых являются силовые и тепловые [2]. К силовым факторам можно отнести: силы резания, усилия приводных элементов, массу шпинделя, массу деталей, дисбаланс, внутренние напряжения деталей шпинделя и корпуса, вибрации. Тепловые факторы характеризуются действием как внутренних источников тепловыделений: процесс резания, электродвигатели, электромагнитные и кулачковые муфты, подшипники, зубчатые зацепления, гидросистема, трение в направляющих и т.д., так и внешних: тепловая радиация солнечных лучей, освещение, влияние других станков и т.д.

Данные факторы определяются не только мощностью и длительностью воздействия, а также и частотой воздействий. В основном они являются следствием обратимых процессов. Как показывает анализ, основную погрешность в работу ШУ станков нормальной точности при черновой и получистовой обработке вносят процесс резания (силы резания) и усилия от приводных элементов. В ШУ точных и высокоточных станков, при чистовых режимах обработки, тепловой фактор становится основным для оценки его точности, так как в этом случае статические и динамические деформации упругой системы станка не оказывают существенного влияния на точность обработки.

Настоящее исследование направлено на применение моделирования положения оси шпинделя под воздействием тепловых и силовых факторов, что позволяет перейти от длительных экспериментов к исследованию термоупругой модели ШУ. Процесс моделирования относительно трудоемок, но в значительной мере менее энергоемок и экономически выгоден, так как не требует дорогостоящей измерительной аппаратуры и длительных сроков испытаний.

Для проведения исследования была предложена следующая методика:

1. На основании технической документации и чертежей производится анализ компоновки и конструкции ШУ станка, составных элементов, характера их сочленения. Важно выявить те детали и их конструктивные элементы, которые оказывают наиболее существенное воздействие на адекватность модели. Так как рассматриваемый узел работает под переменной нагрузкой, необходимо определение граничных условий, которые задаются исходя из поставленной задачи [3].

2. По доступным чертежам и или натуральным размерам создается трехмерная твердотельная полноразмерная модель ШУ в графической среде SolidWorks. При построении модели учитываются большинство конструктивных элементов таких, которые могут снижать или повышать жесткость узла, а также физико-механические свойства материалов. При моделировании нет необходимости учитывать относительно малые конструктивные элементы, такие как галтели, фаски, уступы, бурты, так как они не оказывают сколь-нибудь значимого влияния на последующие результаты термоупругого расчета.

3. Осуществляется моделирование термоупругих процессов ШУ в среде конечно-элементного модуля CosmosWorks. Создается сетка дискретизации – модель ШУ разбивается на большое количество конечных элементов. От степени дискретизации зависит точность расчетов. К твердотельной модели прикладываются граничные условия. При анализе силового воздействия используется приложение Solid Works Simulation, которое составляет уравнения, управляющие поведением каждого элемента ШУ и устанавливающие взаимосвязь между перемещениями и известными свойствами материалов, закреплениями и нагрузками. Для более точного моделирования тепловых воздействий, происходящих в ШУ, необходимо учитывать большое количество факторов, влияющих на тепловой режим при эксплуатации станка: количество, мощность и расположение внутренних и внешних источников тепловыделения; возможные направления протекания элементарных процессов (теплопроводность, конвекция, тепловое излучение); температура окружающей среды; интенсивность тепловых процессов при различных режимах работы оборудования; наличие системы охлаждения, и др. На этом этапе также можно проверить утверждение о термосимметричности конструкции.

4. Приемлемость моделирования или адекватность термоупругой модели необходимо одновременно проверить экспериментально. Измерение смещения шпинделя в результате тепловых или упругих деформаций будет производиться по методике, предложенной в [4]. Так как экспериментально измеренные смещения шпинделя являются суммарными смещениями в результате деформаций шпинделя и стойки, следует это учитывать при сопоставлении результатов.

5. Предусматривается корректировка параметров модели для достижения сходимости с экспериментальными результатами. При возможном изменении режима работы станка необходимо скорректировать граничные условия и повторно произвести процесс расчета для уже исправленной модели. Обладая данной моделью, конструктор может вносить изменения в конструкцию ШУ и наблюдать результат изменения деформаций.

Результаты исследования и обсуждения. В качестве объекта исследования рассматривался горизонтально-фрезерный станок модели Орша Ф32Ш нормального класса точности. По геометрическим размерам построена твердотельная трехмерная модель шпиндельного узла в приложении SolidWorks. Причем модель будет являться не деталью, а сборочной единицей (рис. 1). При этом учтены условия сопряжения в местах контакта деталей. В качестве исходных данных модели приняты фактические параметры рассматриваемого станка: механические свойства материала шпинделя, тип опор, схема установки подшипников, места приложения силовых факторов и приводного крутящего момента.

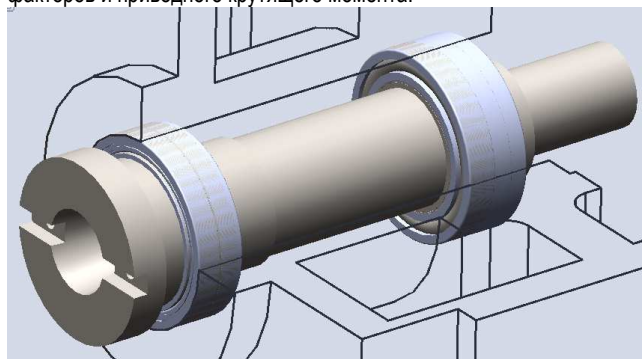


Рис. 1. Трехмерная модель шпиндельного узла

За основу расчета при прогнозировании положения оси шпинделя взят один из силовых факторов – сила резания P , рассмотрение которой ведется в проекциях P_x , P_y , P_z . В качестве лимитирующей нагрузки была принята вертикальная составляющая силы резания, приложенная к консоли шпинделя, интервал значений которой (1..6 кН) принят исходя из допустимых режимов обработки на станке. Жестко закрепленными являются наружные опоры подшипников, что исключает их перемещение. Расчет произведен методом конечных элементов, для чего на модель была наложена параметрическая сетка конечных элементов (рис. 2).

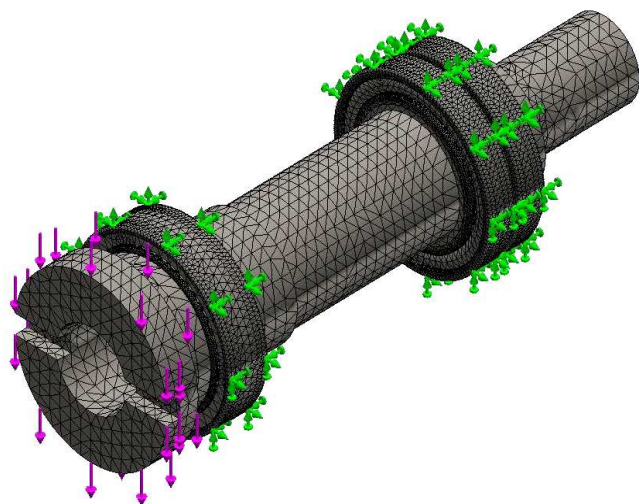


Рис. 2. Конечно-элементная сетка шпиндельного узла

SW Simulation составляет уравнения, управляющие поведением каждого элемента и учитывающие его связи с другими элементами. Эти уравнения устанавливают взаимосвязь между перемещениями и известными свойствами материалов, закреплениями и нагрузками. Затем программа преобразует уравнения в систему алгебраических уравнений, решая которую, находит перемещения каждого узла в требуемом направлении. По расчетным данным строятся эпюры перемещений по осям X , Y , Z и эпюра результирующего перемещения, показанная на рисунке 3.

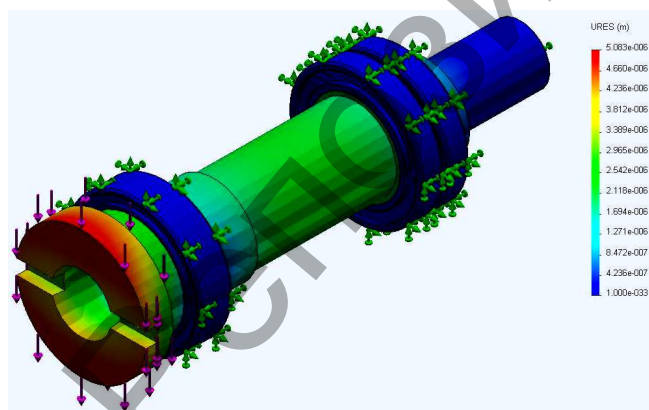


Рис. 3. Эпюра результирующего перемещения

Для удобства восприятия градиентной эпюры необходимо преобразовать ее в числовую зависимость, используя значения перемещения в контрольных точках. В данном случае расположение контрольных точек выбрано по наружной круговой поверхности консоли (рис. 4).

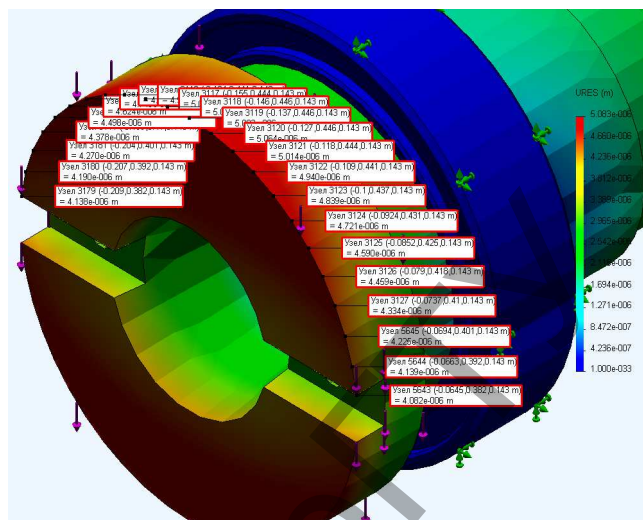


Рис. 4. Зондирование поверхности

Наиболее важным (исходя из максимально достижимой точности) является смещение оси шпинделя в направлении оси Y , поскольку при фрезеровании на горизонтально-фрезерном станке составляющая силы резания в направлении оси Y является максимальной, а прогиб в этом направлении приводит к смещению оси инструмента относительно заготовки и, как следствие, ухудшению параметров точности обработанной детали [2].

График перемещения контрольных точек поверхности консоли приведен на рис. 5.

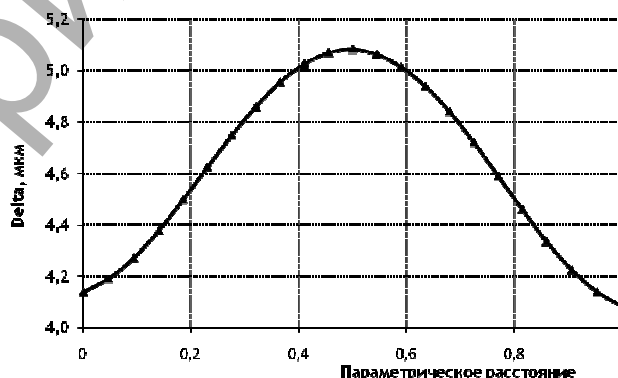


Рис. 5. Перемещение контрольных точек консоли шпинделя

По графику определены точки консоли с максимальным перемещением, по которым в дальнейшем ведется анализ поведения ШУ под воздействием внешней нагрузки. Прикладывая различные силы в исследуемом интервале, определена зависимость максимального перемещения оси от величины внешней нагрузки, которое описывается уравнением $y = k \cdot F$ (где $k=1,12$ мкм/кН для исследуемого станка при внешней нагрузке F , лежащей в диапазоне 1..6 кН). Зависимость имеет линейный характер, что очевидно, исходя из условия выполнения закона Гука, т.к. при работе станка в допустимых режимах на ШУ не воздействуют усилия, приводящие к пластическим деформациям элементов узла. Наклон графика (коэффициент k) зависит от жесткости ШУ и для каждого типа станка будет иметь свое значение, зависящее от его конструкции.

Для конкретного вида обработки известны режимы резания, а как следствие, и сила резания, значение составляющих которой можно определить аналитически либо экспериментально. По аналогичной методике можно, используя данную термоупругую модель, определить деформации от тепловых процессов в шпиндельном узле [4]. При чистовой обработке необходимо дополнительно по

термоупругой модели стойки станка определить температурные деформации как по определенным координатам оси ШУ в опорных точках, так и по суммарному перемещению [3]. Тогда к угловому повороту оси шпинделя от действия силовых факторов (что приводит к прогибу шпинделя) добавятся дополнительные угловые и линейные погрешности опорных поверхностей под подшипники ШУ вследствие неравномерности нагрева стенок стойки [5]. Тогда суммарное отклонение оси шпинделя в рассматриваемом направлении примет вид

$$\delta = \Delta + (\Theta_1 + \Theta_2) \cdot a,$$

где Δ – смещение оси шпинделя под действием тепловых деформаций передней стенки стойки станка;

Θ_1 – угол поворота оси шпинделя за счет неравномерности нагрева опорных поверхностей передней и задней опоры ШУ;

Θ_2 – угол поворота оси шпинделя вследствие упругой деформации консольной части, $\Theta_2 = \text{tg } \Theta_2 = y/a$;

a – величина консольной части шпинделя (точки приложения силы).

Результаты. Полученные на основании оценки термоупругой модели шпиндельного узла и экспериментальные исследования имеют хорошую сходимость, отклонения в абсолютном выражении составляют 1...2,5 мкм.

Заключение. Полученные моделированием теоретические исследования позволяют в зависимости от условий работы станка моделировать смещение положения оси шпиндельного узла от

внешней нагрузки, тепловых факторов, а также прогнозировать достижимую точность обработки путем выбора оптимальной конструкции и коррекции состояния станка.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: справочник-учебник: в 3-х т. / А.С. Проников, О.И. Аверьянов, Ю.С. Аполлонов [и др.]; под общ. ред. А.С. Проникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана: Машиностроение, 1994 – Т.1: Проектирование станков. – 444 с.
2. Пуш, А.В. Шпиндельные узлы: качество и надежность. – М.: Машиностроение, 1992. – 288 с.
3. Омель, Д.В. Моделирование тепловых деформаций стойки консольно-фрезерного станка / Д.В. Омель, В.П. Горбунов // Вестник Брестского государственного технического университета. – Брест, 2010. – №4(64): Машиностроение. – С. 43–46.
4. Григорьев, В.Ф. Исследование тепловых процессов в шпиндельном узле фрезерного станка / В.Ф. Григорьев, В.П. Горбунов, С.В. Архуток // Вестник Брестского государственного технического университета. – Брест, 2010. – №4(64): Машиностроение. – С. 80–84.
5. Горбунов, В.П. Анализ тепловых деформаций стойки многоцелевого станка с числовым программным управлением / В.П. Горбунов, Д.В. Омель // Вестник Брестского государственного технического университета. – Брест, 2011. – №4(70): Машиностроение. – С. 36–39.

Материал поступил в редакцию 11.01.13

GORBUNOV V.P., KASYAN L.V. Modelling of shift of the axis of the spindle of the horizontally milling machine under the influence of power and thermal factors

In this work the technique of an assessment of a condition of shpindelny knot of the horizontally milling machine by modeling of impact on it power and thermal factors is considered. For linear and angular shift of an axis of a spindle researches of thermoelastic model of shpindelny knot with imposing of boundary conditions proceeding from a design and various working conditions are conducted. The received theoretical researches allow to predict shift of an axis of a spindle and if necessary to bring adjustment in a design of the machine or to change an operating mode.

УДК 546.62:620.193.4

Строкач П.П., Яловая Н.П., Басов С.В., Халецкий В.А., Тур Э.А.

КОРРОЗИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ АЛЮМИНИЯ И АЛЮМИНИЙСОДЕРЖАЩИХ СПЛАВОВ В РАСТВОРАХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ МЕДНЕНИЯ И НИКЕЛИРОВАНИЯ

Введение. Для защиты от коррозии изделий из алюминия и алюминийсодержащих сплавов и придания им долговечности и декоративного внешнего вида необходимо нанести на поверхность металла защитно-декоративные или функциональные слои методом фосфатирования, хроматирования, анодирования, электрохимического осаждения металлических покрытий и др. Методы анодирования и электрохимического осаждения металлических покрытий обеспечивают более надежную защиту, но процесс анодирования требует значительных затрат электроэнергии и приводит к потере электропроводности приповерхностными слоями изделий. Этим недостатком лишен метод электрохимического осаждения металлических покрытий (например, меди, никеля) из растворов.

Варьируя химическую природу осаждаемого металла, фазовый состав сплавов и микроструктуру покрытий, можно обеспечить получение изделий широкого ассортимента, обладающих в каждом кон-

кретном случае требуемыми защитно-декоративными и функциональными свойствами. Перспективным является осаждение композиционных материалов типа металл – дисперсная фаза, например оксида, поскольку такие материалы нередко обладают повышенной твердостью, износостойкостью, коррозионной устойчивостью. Тем не менее, обеспечить осаждение металлических покрытий на алюминий или его сплавы – трудная и не решенная до настоящего времени задача, что, главным образом, связано с высокой химической активностью алюминия и частичным растворением его приповерхностных слоев в используемых электролитах. В результате этого процесса качество покрытий и их адгезия к основе ухудшаются, а электролит выходит из строя.

Основным преимуществом химического никелирования является возможность нанесения равномерного осадка на сложнопрофильные изделия. Химическое никелирование основано на восста-

Строкач Петр Павлович, к.т.н., профессор, профессор кафедры инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

Яловая Наталья Петровна, к.т.н., доцент, директор Института повышения квалификации и переподготовки кадров Брестского государственного технического университета.

Басов Сергей Владимирович, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

Халецкий Виталий Анатольевич, доцент кафедры инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

Тур Элина Аркадьевна, к.т.н., доцент, доцент кафедры инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.