

- ботка поверхностных рельефов с применением физико-химических методов воздействия на материал. Научные технологии в машиностроении, 2012, № 7. с. 33-38.
4. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. – М.: Машгиз, 1951. 296 с.
 5. Соснин Н.А., Ермаков С.А., Тополянский П.А. Плазменные технологии. Санкт-Петербург. Изд-во Политехнического университета. 2008. 405 с.
 6. Кархин В.А. Тепловые основы сварки. - Л. ЛГТУ, 1990. - 100 с.
 7. Медведев А.Ю. Расчет температурных полей при сварке и наплавке. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. - Уфа, 2009.- 142 с.
 8. Жаткин С.С., Никитин В.И., Паркин А.А. Моделирование нагрева системы «Покрытие-подложка» при плазменной порошковой наплавке *Stellite 190* сканирующей дугой. Известия самарского научного центра Российской академии наук. Т. 11, № 5 (2), 2009.
 9. Паркин А.А., Жаткин С.С., Минаков Е.А. Оптимизация технологии плазменной наплавки порошковых материалов. Металлургия машиностроения. – 2011. № 1. с.44-49.
 10. Минаков Е.А., Жаткин С.С., Паркин А.А., Фураев О.С., Климов В.Г. Влияние режимов плазменной наплавки, структурных факторов и свойств на износостойкость наплавленного порошкового материала *Stellite 190W* / Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2011. т. 13, № 4 (3). с. 818-823.
 11. Жаткин С.С., Паркин А.А., Минаков Е.А. Особенности микроструктуры *Stellite 190W* при плазменно-порошковой наплавке на медь. / Естественные и технические науки.- 2011. - № 6 (56). – с.562-564. ISSN 1684-2626

Технологический синтез мехатронных станочных систем для многоосевой обработки

д.т.н. проф. Лукина С.В., к.т.н. доц. Иванников С.Н., к.т.н. доц. Крутякова М.В.,
Манаенков И.В.

Университет машиностроения

(495) 223-05-23, доб. 1451, lukina_sv@mail.ru, ivannikov.51@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается методика технологического синтеза мехатронных станочных систем для многокоординатной обработки. Методика наглядна, универсальна и реализована с использованием системы CAD/CAM/CAE/PDM системы SolidWorks.

Ключевые слова: технологический синтез, многоосевая обработка, мехатронная станочная система

Современный этап развития технологических систем высокотехнологичной обработки машиностроительных деталей характеризуется усилением конкуренции в области создаваемого производственного оборудования. Это проявляется в повышенных требованиях к качеству, надежности и многофункциональности технологических машин, вызванных появлением и освоением новых прецизионных и высокопроизводительных технологий. Возникает необходимость в создании нового поколения технологических машин, обладающих новыми возможностями и способных решать поставленные производственные задачи эффективно и с меньшими затратами.

Одним из эффективных направлений развития технологических машин является создание многоосевых станков мехатронного типа, оснащенных новейшими видами инструментов, комбинирующих традиционные виды лезвийной и абразивной обработки с высокоэнергетическим воздействием лазерным лучом или плазмой [1, 2]. Многоосевой станок мехатронного типа является сложной динамической системой. Задача синтеза такого станка является сложной и многоплановой. Обеспечить эффективную многокоординатную обработку возможно при решении ряда наукоемких проблем, связанных с множеством разнородных производственных факторов для удовлетворения комплекса противоречивых критериев, таких как производительность, себестоимость, точность и качество обработки (рисунок 1).



Рисунок 1. Структуризация основных факторов операции многокоординатной обработки сложнопрофильных деталей по критерию эффективности

Технологический синтез многоосевых мехатронных станочных систем предполагает интегральное решение совокупности инженерных задач, связывающих проектную разработку с будущей производственной средой, в которой предполагается эксплуатировать станок. Это задачи: идентификации (проектно-конструктивный синтез геометрического образа станка по заданным исходным условиям технического задания (ТЗ)); верификации (установление соответствия конструкции требованиям ТЗ); валидации (технологическое обоснование эффективности применяемости станка в заданных производственных условиях и ограничениях).

Технико-экономическими проектными критериями таких станков являются точность, жесткость, устойчивость, управляемость, габаритно-массовые параметры, эксплуатационная надежность, энергетические и кинетические характеристики, автоматизация и безопасность. Ключевым проектным критерием оценки работоспособности многокоординатной системы является точность формообразования.

Процедура многокоординатного формообразования предполагает одновременную интерполяционную связь осевых приводов при обработке сложнопрофильной поверхности. Станочная система, поддерживающая многокоординатную обработку, должна иметь функциональную возможность реализации такой интерполяционной связи приводами линейных и поворотных осей станка. Это реализуется за счет мехатронизации приводов и модульного конструирования станочной системы.

Технологический синтез многоосевых станков включает в себя совместное решение задач разработки компоновочного решения, оценки характеристик станка в области рабочего пространства, установление соответствия технических возможностей станка условиям планируемой эксплуатации.

Многоосевая обработка различного целевого назначения реализуется вариативностью структурных компоновочных решений, образованных сочетаниями поступательных и враща-

тельных кинематических пар относительно неподвижной станины в глобальной системе координат станка.

В качестве примера в таблице 1 представлена область компоновочных решений для 7-ми координатной обработки, разработанных с использованием рекомендаций [3].

Таблица 1

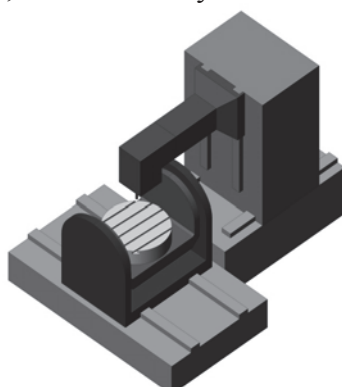
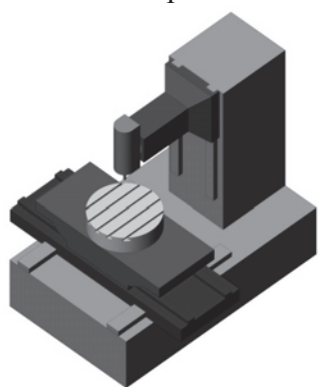
Множество компоновочных решений

Ветвь инструмента	Матрица комбинаций размещения кинематических пар относительно стационарного блока O						Ветвь заготовки
	O	(Bz3)	П	П	П	Вуз	
Vxi	O	(Bz3)	П	П	П	Вуз	Bz3
Vxi	Bzi	O	П	П	П	Вуз	Bz3
Vxi	Bzi	П	O	П	П	Вуз	Bz3
Vxi	Bzi	П	П	O	П	Вуз	Bz3
Vxi	Bzi	П	П	П	O	Вуз	Bz3
Vxi	Bzi	П	П	П	(Byi)	O	Bz3
Ветвь инструмента			Стац. блок		Ветвь заготовки		

Многоосевая обработка обеспечивается комбинацией линейных и поворотных кинематических пар. На рисунке 2 представлены 3D-геометрические образы вариантов компоновок станков, сформированные с использованием таблицы 1 в CAD/CAM/CAE/PDM системы SolidWorks.

Направление и соотношение сил резания при многоосевой обработке в основном зависят от ориентации инструмента относительно заготовки и направления его движения. Для возможности оценки объемной точности станка на этапе его проектирования необходимо представление результирующего вектора сил резания в виде непрерывного силового поля, сформированного на дискретных квадрантах (рисунок 3).

Для выбора лучших компоновочных решений следует проводить расчетную оценку характеристик упругой системы станка в пределах рабочего пространства по следующим показателям: геометрической точности; жесткости и устойчивости.



Компоновка (VyPz0PyPxVz) Компоновка (PzPy0PxVyVz)

Рисунок 2. 3D-геометрический образ вариантов компоновок станков

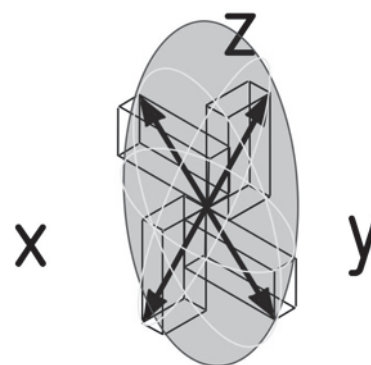


Рисунок 3. Непрерывное представление силового поля

Ниже представлены результаты реализации задачи технологического синтеза вариантов компоновок многоосевого станка для лазерной обработки хвостовиков турбинных лопаток из керамики.

Матрица синтеза конструктивных параметров компоновок представлена в таблице 2.

По каждому варианту конструкции были произведены расчеты статической точности (таблица 3). Расчеты показали, что лучшими по критерию точности признаны варианты 6-8 и 2-4, соответствующие портальной компоновке, имеющие больший запас точности.

Матрица синтеза конструктивных параметров компоновок

Варианты/ варьируемые факторы		I. Ориентация плоскостей направляющих стола		II. Расстояние между направляющими стола, мм		III. Расстояние между направляющими шпиндельной бабки, мм	
		90 ⁰	0 ⁰	760	860	638	738
I	90			1	2	3	4
	0			5	6	7	8
II	760	1	5			1-3,5-7	1-4,5-8
	860	2	6			2-3,6-7	2-4,6-8
III	638	3	7	1-3,5-7	2-3,6-7		
	738	4	8	1-4,5-8	2-4,6-8		

Таблица 3

Результаты статического расчета

Вариант/Погрешность	$\Gamma_{\text{факт}}$ (МКМ)	$\Gamma_{\text{доп}}$ (МКМ)	$\Delta = \Gamma_{\text{доп}} - \Gamma_{\text{факт}} $ (МКМ)
1-3	5,9	6,18	0,28
1-4	4,6	5,9	1,3
2-3	5,8	5,95	0,15
2-4	3,3	5,9	2,6
5-7	4,6	6,1	1,5
5-8	3,6	5,7	2,1
6-7	4,2	5,3	0,5
6-8	2,6	5,7	3,1

Портальная компоновка позволяет обеспечить доступность луча ко всем обрабатываемым поверхностям заготовки, высокую кинетику формообразования и симметрию тепловых деформаций (рисунок 4). Ускорения узлов до 0,5G и знакопеременные нагрузки, вызывающие динамические возбуждения, обусловили применение виброустойчивой несущей системы станка за счет гранитных базовых элементов. Результаты интегральной оценки объемной точности пятиосевого станка представлены на рисунке 5.

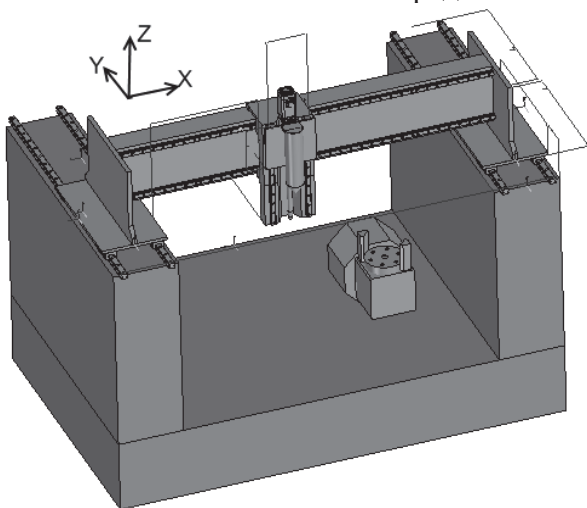


Рисунок 4. 3D-модель портальной многоосевой системы, сформированная в CAD/CAM/CAE/PDM системы SolidWorks

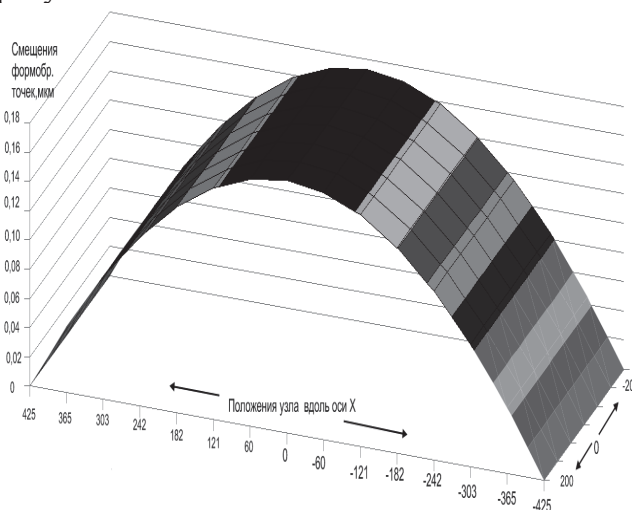


Рисунок 5. Оценка объемной точности портального пятиосевого станка

Как показали результаты расчетного моделирования, значительное влияние на устойчивость станка оказывают динамические характеристики его упругой системы (собственные частоты, формы колебаний на них и параметры демпфирования). На амплитудно-частотной характеристике (АЧХ) отражены амплитуды виброперемещений на первых собственных частотах, в которых вероятность резонанса весьма высока (диапазон внешнего возбуждения лежит в диапазоне от 0 до 200 Гц) (рисунок 6).

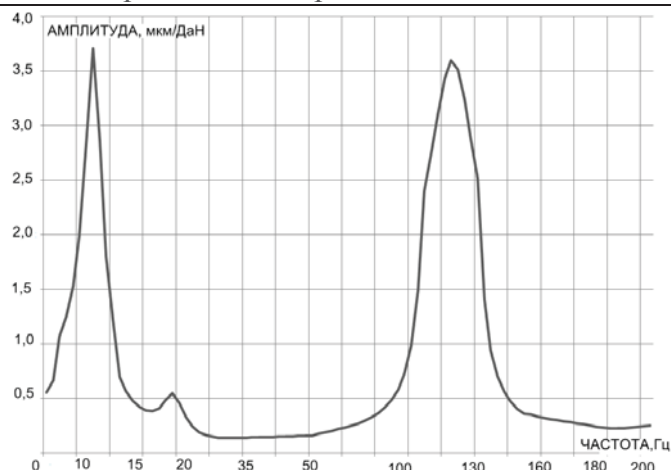


Рисунок 6. Амплитудно-частотная характеристика упрюгой системы порталного станка

Анализ показал, что параметрические изменения варьируемых факторов оказывают значительное влияние на сдвиг собственных частот и амплитуду колебаний, что позволило уточнить перечень значимых факторов, подбор которых позволяет управлять динамической точностью станка на проектной стадии путем выявления «слабых» элементов (рисунок 7).

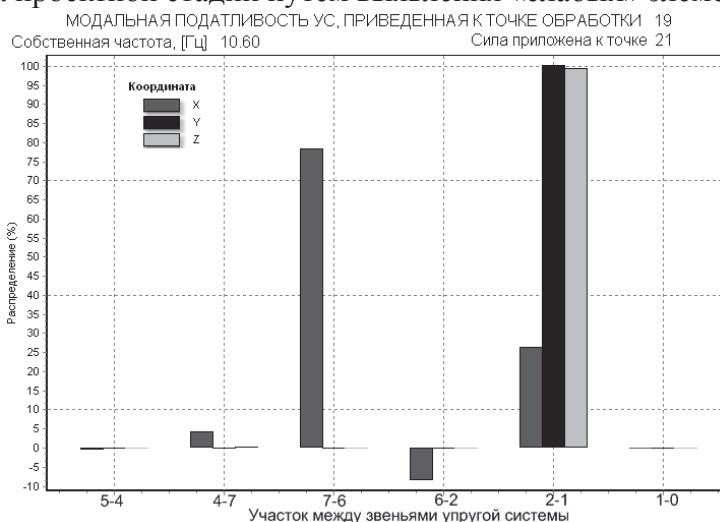


Рисунок 7. Анализ «слабых» элементов порталной системы по динамическим факторам

Так, отстройка частот от резонансной зоны произведена значительным ужесточением контактной податливости стыка «портальная каретка-балка» - на 50% относительно начальных данных, а также конструктивным поиском оптимального баланса центровки подвижных масс относительно центров жесткости стыков.

Это позволило выработать уточняющие проектно-технологические мероприятия, улучшающие статические и динамические характеристики упрюгой системы станка до уровня технологически обусловленной жесткости, обеспечивающей требуемую прецизионность и производительность обрабатывающей системы.

В результате выполненных исследований сформирована методика технологического синтеза мехатронных станочных систем для многокоординатной обработки. Методика наглядна, универсальна и реализована с использованием системы CAD/CAM/CAE/PDM системы SolidWorks.

Практическая апробация методики была проведена путем технологического синтеза многоосевого станка для лазерной обработки модели МЛП4.1 фирмы «ЭСТО-Лазеры и аппаратура». Это позволило выработать уточняющие проектно-технологические мероприятия, улучшающие статические и динамические характеристики упрюгой системы станка до уровня технологически обусловленной жесткости, обеспечивающей требуемую прецизионность и

производительность обрабатываемой системы.

Работа выполнена в рамках научно-исследовательского направления по теме «Разработка макроструктурного интегрированного комплекса управления пространственной точностью сложнопрофильного формообразования высокотехнологичных изделий машиностроения».

Литература

1. Лукина С.В., Манаенков И.В. Повышение эффективности многокоординатного фрезерования пространственно-сложных поверхностей на станках с ЧПУ // Известия МГТУ «МАМИ». 2012, № 2 (14), т. 2, с. 124-129.
2. Лукина С.В., Манаенков И.В., Кудрявцева А.Л. Технологический синтез многоосевого станка для лазерной обработки // Ритм. 2013, № 1 (79), с. 36-40.
3. Врагов Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков/ Основы компонетики / . -М.: Машиностроение., 1978. 208 с.
4. Иванников С.Н., Манаенков И.В. Модели для расчета тепловых смещений шпиндельных узлов //Известия МГТУ «МАМИ».-2012, № 2 (14), т. 2, с. 83-86.

Особенности прерывистого профильного шлифования цилиндрических зубчатых колес

д.т.н. Калашников А.С., к.т.н. Моргунов Ю.А., к.т.н. Калашников П.А., Филиппов В.В.

Университет машиностроения
8-916-3768356, morgunov@mami.ru

Аннотация. Рассмотрены условия зацепления шлифовального круга с зубьями цилиндрического колеса при прерывистом профильном шлифовании, исследованы возможности снижения теплонапряженности процесса шлифования зубьев за счет применения высокопористых шлифовальных кругов, ограничения приведенной скорости снятия металла и секторной последовательности шлифования зубьев.

Ключевые слова: прерывистое профильное зубошлифование, секторное шлифование зубьев.

Для шлифования эвольвентных зубьев цилиндрических колес наибольшее распространение в промышленности получили два метода – непрерывное обкатное червячным шлифовальным кругом и прерывистое профильное двухсторонним коническим кругом. При непрерывном обкатном зубошлифовании витки червячного круга, имеющие близкий к реечному профиль, воспроизводят эвольвентный профиль и продольную форму зуба.

Для обкатного метода характерен точечный контакт шлифовального круга и заготовки, постоянно меняющий свое положение по высоте и длине зуба. Очень короткое время точечного контакта не вызывает больших термических нагрузок на зуб обрабатываемого колеса, поэтому при шлифовании этим методом возможны высокие скорости резания без опасности возникновения прижогов на поверхности зубьев.

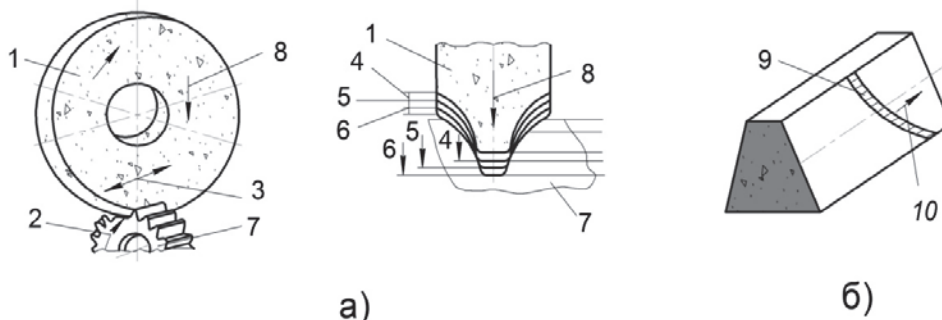


Рисунок 1. Прерывистое профильное зубошлифование

Прерывистое профильное зубошлифование производят вращающимся шлифовальным кругом 1 при продольном движении подачи 3 круга вдоль оси заготовки 7 (рисунок 1, а).