

Устройство и конструкция высокоскоростного электрошпинделя

По материалам IBAG Switzerland AG и IBAG North America

Введение

Высокоскоростной шпиндель, используемый в составе металлорежущего станка, должен обеспечивать ряд технических требований, к которым в первую очередь относятся:

1. Высокая пиковая мощность и мощность постоянного действия
2. Максимальная радиальная и аксиальная жёсткость
3. Максимальная скорость вращения
4. Соответствующая требованиям высокоскоростной обработки (ВСО) система крепления инструмента, часто с возможностью автоматической смены инструмента

Для каждого конкретного практического приложения должен быть произведён выбор между шпинделем с ременной передачей и моторшпинделем.

Ниже будет показано, что эти требования трудно совместить в одном дизайне. Некоторые требования противоречат друг другу, так что в ряде случаев необходимо идти на компромиссы с тем, чтобы сконструировать наиболее удовлетворяющий заданным техническим характеристикам шпиндель.

Станок со своей стороны предъявляет требования к шпинделю. Размеры рабочего пространства, фактор стоимости, сложность и требования рынка также определяют выбор шпинделя. Стоимость играет определяющую роль. Никто не будет встраивать сложный многофункциональный шпиндель в простой станок, где стоимость шпинделя сравнима со стоимостью самого станка. Такой шпиндель подходит для сложного станка с высокими требованиями по точности и производительности.

В данной статье представлен обзор основных компонентов высокоскоростных шпинделей. Особое внимание будет уделено комплектующим с учётом их стоимости. Также будут рассмотрены вопросы надёжности и технического обслуживания.

Конструкция высокоскоростного шпинделя: список основных компонентов

Основные вопросы при конструировании высокоскоростного шпинделя:

1. Тип шпинделя: с ременной передачей или моторшпиндель со встроенным мотором
2. Подшипники шпинделя: тип, количество, конфигурация, вид смазки
3. Мотор: с ременной передачей, моторшпиндель, мощность, размеры
4. Система зажима инструмента и инструментальные оправки
5. Корпус шпинделя: размеры, вид монтажа

Перечисленные вопросы будут обсуждены ниже применительно к современному обрабатывающему центру с системой ЧПУ с возможностью автоматической смены инструмента (АТС).

Тип шпинделя: с ременной передачей или со встроенным мотором

Первое решение, которое должно быть принято: какой шпиндель необходим – с ременной передачей или со встроенным мотором (моторшпиндель). Это определяется требованиями к станку – необходимой скоростью вращения, мощностью и жёсткостью. Стоимость также является существенным фактором. Шпиндель с ременной передачей имеет принципиально меньшую стоимость, чем моторшпиндель.

Высокоскоростной шпиндель с ременной передачей аналогичен обычному шпинделю с ременной передачей. Типичный шпиндель с ременной передачей включает в себя установленный в корпус шпиндельный вал на подшипниковых опорах. Он снабжён системами зажима и разжима инструмента, причём механизм разжима инструмента в большинстве случаев монтируется извне.

Мощность и вращение передаются шпинделю от внешнего мотора, который устанавливается в непосредственной близости от шпинделя. Момент передаётся к шпинделю посредством ременной передачи. Мощность, момент и скорость шпинделя определяются характеристиками мотора и передаточным отношением ременной передачи.

Принципиальные преимущества шпинделя с ременной передачей заключаются в следующем:

1. Сравнительно низкая стоимость: шпиндель состоит из нескольких базовых компонентов, и его стоимость сравнительно низкая по сравнению с альтернативными решениями.
2. Широкий диапазон технических данных: так как мощность, момент и скорость шпинделя определяются характеристиками мотора, конечная спецификация шпинделя может быть изменена за счет выбора другого мотора или другого передаточного отношения. В некоторых случаях для увеличения скорости вращения используют зубчатые передачи.
3. Высокая мощность и момент: Мотор располагается вне шпинделя, следовательно, здесь можно использовать мотор очень большого диаметра, что обеспечит высокий момент и мощность.

Однако следует отметить ограничения шпинделей с ременной передачей, особо существенных при высокоскоростной обработке:

1. Ограничение максимальной скорости: Шпиндель с ременной передачей ограничен по скорости вследствие следующих факторов. Механические соединения, ремень и система шкивов имеют ограниченную скорость. Если используется клиноременная передача, высокая скорость вращения шкивов приводит к растяжению и ремней, что ограничивает передачу вращающего момента. Клиновидные ремни исключают эту проблему, зато на высоких скоростях при их использовании возникает недопустимый уровень вибраций. Зубчатые зацепления имеют также низкую максимальную скорость, склонны к вибрациям и к повышенному нагреву при высоких скоростях.
2. Ременная передача снижает нагрузочную способность подшипников: Передача момента у рассматриваемых шпинделей передаётся посредством ремня и системы шкивов. Натяжение ремня создаёт постоянную радиальную нагрузку на задние подшипники шпинделя. С увеличением мощности и скорости шпинделя требуемое натяжение и, соответственно, радиальная нагрузка на подшипники также возрастает и тем самым истощает радиальную нагрузочную способность подшипников. Установка подшипников большего диаметра или дополнительного набора подшипников проблемы не решает, так как эти меры в свою очередь снижают максимально возможную скорость вращения шпинделя.

Выводы

Применение шпинделей с ременной передачей для высокоскоростной обработки возможно для ряда практических задач, где требуемая скорость вращения шпинделя не превышает 12 000 – 15 000 об/мин.

Шпиндель со встроенным мотором (моторшпиндель, электрошпиндель)

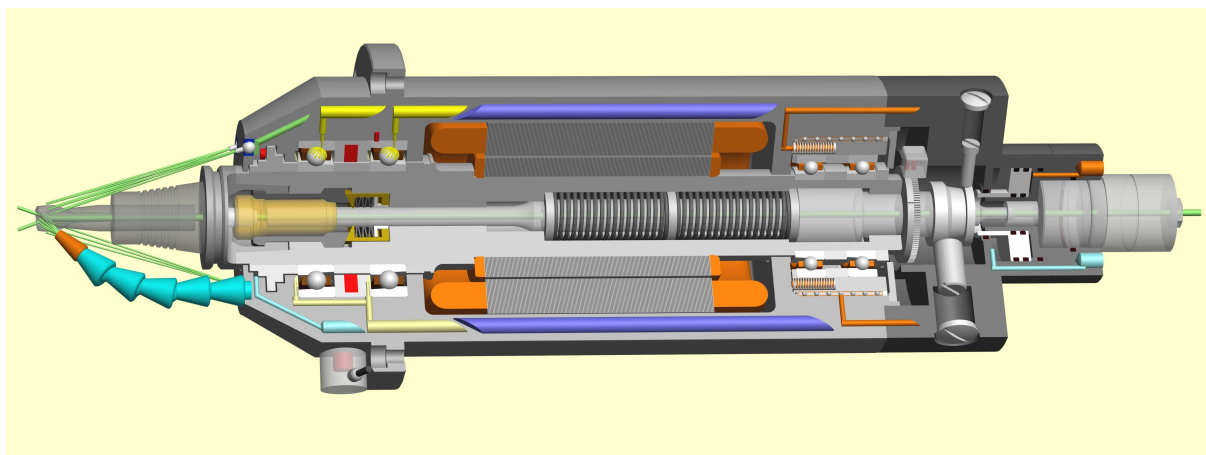


Рис.1 HF- моторшпиндель с оснащением «Condition Monitoring» - датчиками и исполнительными элементами для контроля процесса высокоскоростной обработки

Мотор интегрирован в корпус шпинделя и обеспечивает возможность высоких скоростей вращения без ограничений, обусловленных ременными и зубчатыми передачами.

Моторшпиндель состоит из установленного на подшипниках шпиндельного вала, мотора и системы зажима инструмента. Смазка подшипников перманентная на весь срок службы или воздушно-масляная. Воздушно-масляная смазка позволяет достичь более высокие – на 20% и выше скорости вращения. Мощность электрошпинделя определяется мощностью мотора. Выбор шпинделя для конкретного приложения определяется требованиями станка. В конечном итоге должен быть сделан выбор оптимальной комбинации скорости вращения, мощности, жёсткости и нагрузочной способности. В последующих разделах статьи будут более подробно описаны критерии выбора основных компонентов высокоскоростного моторшпинделя.

Подшипники: Тип, Количество, Конфигурация, Вид смазки.

Одним из наиболее критических компонентов любого высокоскоростного шпинделя является система подшипников. Шпиндель должен обладать высокими скоростями вращения, передавать необходимые вращающий момент и мощность к инструменту, иметь хорошую нагрузочную способность и длительный срок службы. Подшипники должны обеспечивать все эти требования.

Многие мировые производители предлагают высокоточные подшипники для высокоскоростной обработки (ВСО). Типы подшипников – роликовые, роликовые конические, шариковые подшипники с угловым контактом. Критерии выбора подшипников зависят от спецификации шпинделя, как это показано в таблице.

Требования	Тип подшипников	Влияние на параметры шпинделя
Высокая скорость	Малый угловой контакт	Малый вал, низкая мощность
Высокая жёсткость	Большие ролики	Низкая скорость, большой вал
Аксиальная нагр. способность	Большой угол контакта	Понижение скорости
Радиальная нагр. способность	Малый угол контакта	Повышение скорости
Высокая точность	АВЕС 9, Высокий преднатяг	Дорого, низкая скорость

Как видно из таблицы, выбор подшипников определяется многими факторами. Шпиндель, предназначенный для работы с максимально возможной скоростью вращения, не может иметь высокой жёсткости, шпиндель с высокой жёсткостью не может вращаться на высоких оборотах без резкого уменьшения срока службы подшипников. Таким образом, разработчик шпинделя обязан выбрать наилучшее компромиссное решение.

Радиально-упорные подшипники и роликоподшипники

Радиально-упорные подшипники наиболее часто используются в составе высокоскоростных шпинделей с высокими скоростями вращения по причине того, что они обеспечивают высокую точность, нагрузочную способность и скорость для обработки металлов. В некоторых случаях используются роликоподшипники вследствие их более высокой нагрузочной способности и жёсткости. Однако они не обеспечивают необходимую скорость вращения.

Радиально-упорные подшипники состоят из множества прецизионных шариков, встроенных в стальные прецизионные кольца. Они обладают радиальной и осевой нагрузочной способностью.

Важным критерием выбора подшипников является максимальная скорость подшипника или достижимая скорость вращения шпинделя. Это определяется типом подшипника, методом смазки, преднатягом, нагрузкой,... На практике, основным исходным пунктом является условная величина dN , которая вычисляется путем умножения среднего диаметра подшипника, измеряемого в мм, на скорость вращения, измеряемой в об/мин. Для высокоскоростных шпинделей с шариковыми подшипниками dN достигает 1,500,000.

Одним из основных параметров спецификации радиально-упорных подшипников является угол контакта. Угол контакта определяется как угол между линией, соединяющей точки контакта шарика и каналов в радиальной плоскости, по направлению передаваемой от одного к другому нагрузки и линией, перпендикулярной оси подшипника. (см. Рис. 3). Осевая нагрузка радиально-упорных шарикоподшипников увеличивается с увеличением угла контакта. Обычно угол контакта составляет 12° , 15° или 25° . Угол 25° выбирают, если шпиндель предназначен в основном для сверления, 15° - для фрезерования.

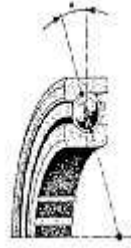


Рис. 2: угол контакта

Для радиально-упорных подшипников возможна различная величина преднагрузки: лёгкая, средняя и тяжёлая. Легко преднагруженные подшипники предназначены для работы на очень высоких скоростях и имеют меньшую жёсткость. Тяжёлая преднагрузка обеспечивает меньшую скорость, но максимальную жёсткость.

С целью обеспечить требуемую нагрузочную способность шпинделя, предназначенного для работы с высокой скоростью вращения, группы по 2-3 подшипника в каждой группе устанавливают в различных конфигурациях. Это позволяет распределить нагрузку и увеличить общую жёсткость шпинделя.

О - Конфигурация установки подшипников

Очень часто используется установка подшипников в «О» – конфигурации. Эта конфигурация обеспечивает наиболее высокую точность и жёсткость шпинделя. При использовании «О» – конфигурации максимальные скорости несколько снижаются, зато обеспечивается одинаковая жёсткость шпинделя в обоих аксиальных направлениях. Типичным применением «О»- конфигурации является сверление.

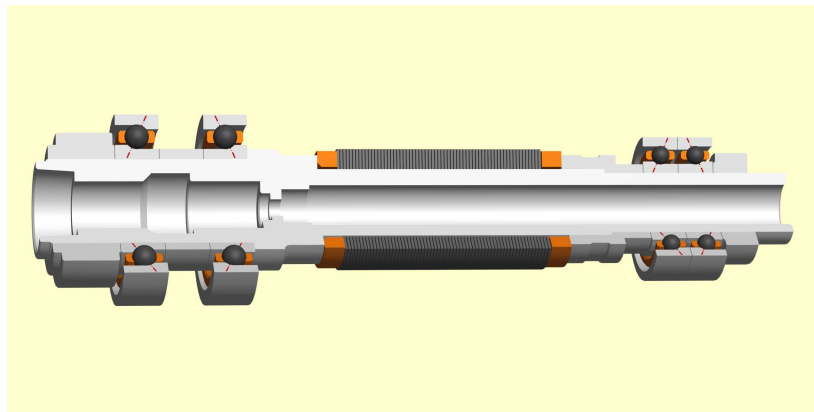


Рис.3 «О» - Конфигурация подшипников

«О – Тандем» - конфигурация установки подшипников

«О – Тандем» - конфигурация установки подшипников применяется, как правило, для тяжёлых шпинделей и высоких вращающих моментов при снятии больших объёмов материала и использовании длинных инструментов.

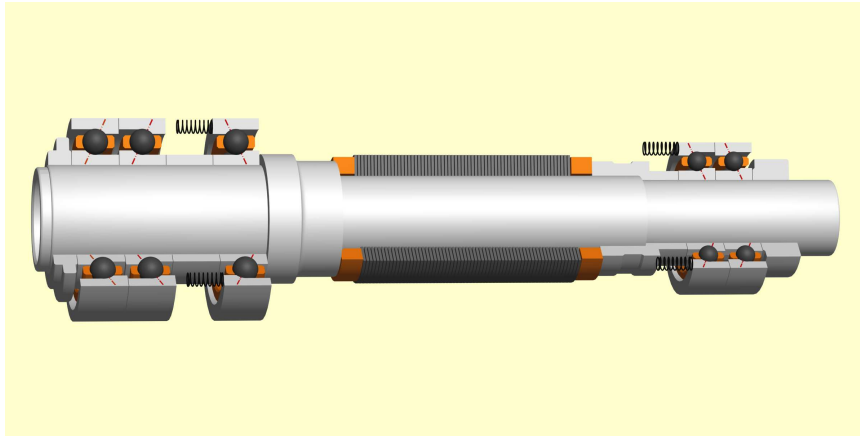


Рис.4 «О – Тандем» - Конфигурация установки подшипников

«Тандем» - конфигурация подшипников с преднапрягом задних подшипников

В большинстве случаев для высокоскоростных шпинделей используется «Тандем» - конфигурация подшипников. Здесь 2-3 подшипника устанавливаются один за другим в носовой части шпинделя, и таким же образом 2-3 подшипника устанавливаются в задней части шпинделя. «Тандем» - конфигурация подшипников является стандартной для шпинделей малых и средних размеров. Она обеспечивает максимально возможные скорости вращения. Для увеличения момента между подшипниками устанавливается промежуточное кольцо. Положение подшипников фиксируется шпиндельным валом и корпусом шпинделя.

Шпиндели IBAG сконструированы таким образом, что по выбору заказчика возможны обе конфигурации. Возможно также изменение конфигурации при ремонте.

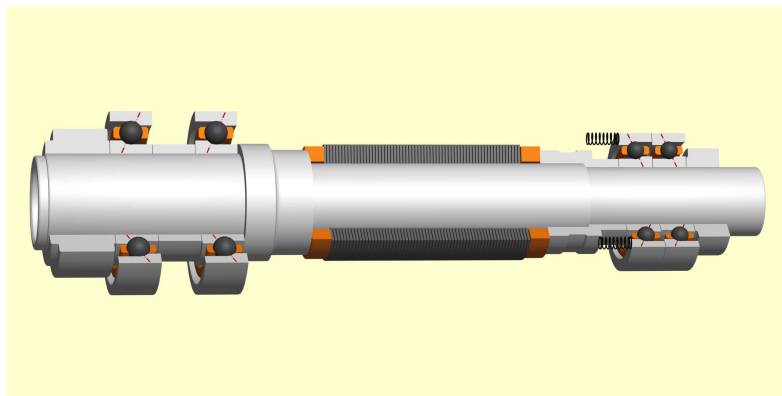


Рис 5 «Тандем» - Конфигурация установки подшипников

При работе моторшпинделей естественны тепловые потери и термическое расширение шпиндельного вала, следствием которого является в первую очередь потеря точности. Для компенсации теплового расширения задние подшипники установлены на подвижной втулке. Постоянство предварительного натяга задних подшипников обеспечивается пружиной.

Гибридные керамические подшипники

Шагом вперёд в технологии производства подшипников явилось использование керамики (нитрида кремния) для изготовления прецизионных шариков. Гибридные керамические подшипники имеют следующие преимущества.

- Масса керамических шариков на 60% меньше массы стальных шариков. Этот факт имеет особое значение при высоких скоростях вращения шпинделя, так как массой определяется величина центробежной силы, которая прижимает шарики к внешнему кольцу. Следствием является износ, и даже деформация шариков. Более лёгкие керамические шарики менее подвержены влиянию центробежной силы. Их использование позволяет повысить скорости вращения на 30% без влияния на срок службы подшипников определённого диаметра.
- Одной из наиболее часто встречающихся причин износа и выхода из строя подшипников является холодное «микро сваривание» материала шарика с материалом подшипниковых колец. Этим обуславливается изменение шероховатости поверхности шарика и кольца, что в свою очередь ведёт к повышенной генерации тепла и повреждениям подшипников. Применение керамических шариков практически уничтожает действие этого механизма, результатом чего является существенное увеличение срока службы подшипников.
- Керамические подшипники генерируют меньше тепла. Керамические шарики имеют близкую к идеальной форму. Вследствие этого генерация тепла на высоких оборотах резко снижается, что помимо этого увеличивает срок службы смазки.
- Применение керамических подшипников резко снижает уровень вибраций шпинделя. Экспериментальные исследования показали, что гибридные керамические подшипники имеют более высокую жёсткость и более высокие частоты собственных колебаний. Это делает их менее чувствительными к внешним вибрациям.

Методы смазки подшипников

Существует несколько видов смазки радиально-упорных подшипников для ВСО. Смазка должна образовывать микроскопическую плёнку между вращающимися деталями для предотвращения абразивного износа и коррозии.

Перманентная смазка

Наиболее простым видом смазки является консистентная (перманентная) смазка. Такая смазка заполняет пространство между шариками и кольцами подшипника и не меняется весь срок службы подшипников. Преимущества очевидны – минимальная стоимость и минимальные затраты на техническое обслуживание. Однако перманентная смазка имеет ряд ограничений. При повышении скорости вращения растёт температура, что может негативно повлиять на свойства смазки. Увеличить количество смазки не значит улучшить качество подшипника. Перегретая смазка может вспениться и испортиться. Примерно 20-30% пространства внутри подшипника должно быть заполнено. После ввода смазки необходим период приработки для распределения смазки внутри подшипника.

Замена смазки для высокоскоростных шпинделей не практикуется. При замене подшипников новая чистая смазка тщательно впрыскивается в подшипники, часто под давлением, чтобы предотвратить попадание загрязнений, которые могут привести к быстрому выходу из строя подшипника.

Воздушно-масляная смазка

Во многих случаях, когда требуются высокие скорости вращения, перманентная смазка недостаточна. Она обеспечивает значение dN до 850, 000. Воздушно-масляная смазка позволяет повысить это значение до 1,500, 000.

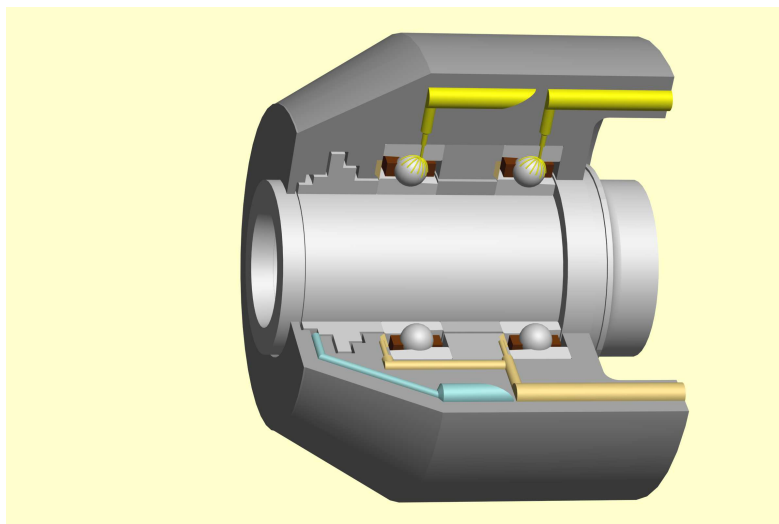


Рис. 6 Подача воздушно-масляной смазки к месту контакта шарика с кольцом подшипника

Наиболее эффективной смазкой подшипников шпинделей для ВСО является воздушно-масляная смазка. Точно рассчитанное количество масла и воздух подаются под давлением в специальный механический смеситель, откуда воздушно-масляная смесь по трубкам поступает к подшипникам шпинделя. Некоторые шпиндели IBAG снабжены AI-смазкой. Здесь минимальное количество масла подаётся через отверстия малых размеров непосредственно к месту контакта шарика с кольцом подшипника. Этим оптимизируется смазка подшипников и снижается их нагрев. На рис. 6 показан механизм AI-смазки.

Рынок предлагает много вариантов масла для смазки подшипников. IBAG выбрал и оптимизировал для своих шпинделей комплектную систему для воздушно-масляной смазки, которая может быть приобретена вместе со шпинделем.

Выводы

Смазка подшипников является одним из наиболее критических компонентов высокоскоростной шпиндельной установки. В зависимости от требований к шпинделю смазка может быть перманентной или воздушно-масляной. Состояние системы смазки должно регулярно проверяться, состояние подшипников подлежит наблюдению. Масло должно быть чистым, воздух чистым и сухим. От правильного и регулярного технического обслуживания зависит срок жизни подшипников и шпинделя в целом.

Срок службы подшипников зависит от многих факторов – скорости, нагрузки, смазки и размеров подшипников. Существует много компьютерных моделей для прогноза срока службы подшипников. Типовым сроком службы подшипников для ВСО при правильном использовании шпинделя 5000 – 7000 часов. Некоторые шпиндели IBAG Switzerland AG на определённых скоростях вращения имеют расчётный срок службы 12 000 часов.

Критерии выбора мотора

Для моторшпинделей размеры и мощность мотора жёстко ограничены размером шпинделя. Как было показано выше, размеры подшипников являются критическим фактором при разработке шпинделя. Размеры ротора мотора определяют выбор размеров подшипников. Последние, в свою очередь, определяют нагрузочную способность, жёсткость и максимальную скорость шпинделя, так что характеристики мотора должны быть согласованы с возможностями подшипников.

Для высокоскоростных шпинделей чаще всего используются асинхронные моторы АС. В таких конструкциях ротор соединён со шпиндельным валом посредством клеящего материала или с помощью термической усадки. Ротор и статор обычно поставляются производителями моторов и приводов.

Шпиндельный вал занимает центральное место в конструкции шпинделя, так как по нему передаётся мощность от мотора к режущему инструменту. Важно учитывать характеристику упругости шпиндельного вала, которая проявляется на высоких скоростях вращения. Частота изгибных колебаний зависит от диаметра и длины шпиндельного вала. Конструкция шпинделя с длинным шпиндельным валом имеет ряд преимуществ – увеличение нагрузочной способности шпинделя и возможность установки мотора большей мощности. Однако необходимо учитывать, что увеличение длины шпинделя может привести к тому, что частота изгибных колебаний может приблизиться к рабочим частотам в зоне резания. В этом случае нужно или увеличить диаметр шпиндельного вала, или уменьшить его длину.

Диаграммы мощности и момента моторшпинделей

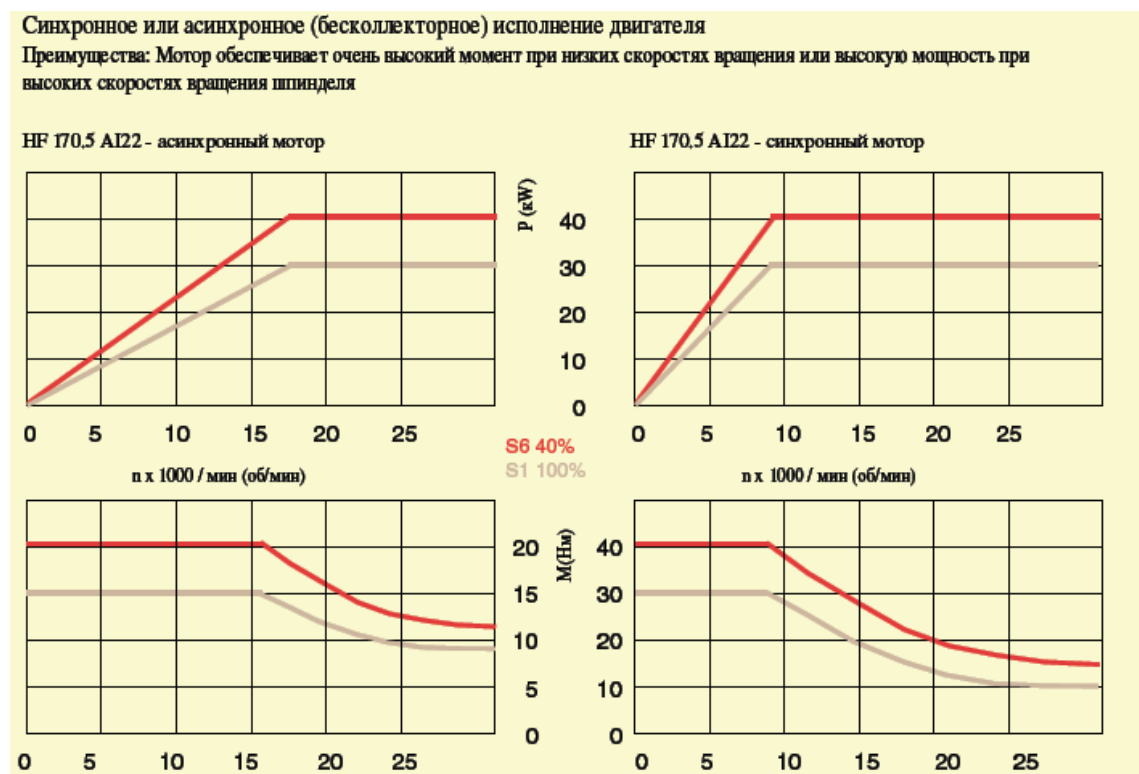


Рис. 7 Диаграммы мощности и момента моторшпинделей

Диаграммы мощности и вращающего момента АС мотора определяются дизайном намоток. Однако мощность зависит от скорости, что объясняется ограничением объема мотора и центробежными силами, действующими на ротор, состоящий из отдельных пластин.

Моторы, используемые в моторшпинделях, характеризуются постоянным вращающим моментом до достижения базовой скорости и постоянной мощностью после её достижения. Так как мощность является функцией произведения скорости и момента, приведённые диаграммы являются типовыми. Для нормальных шпинделей величина момента увеличивается за счет шкивов и зубчатых передач.

У моторшпинделей же мощность и скорость, необходимые для выполнения всех видов обработки, определяются только характеристиками мотора. Моторшпиндели проектируются таким образом, чтобы максимальная мощность достигалась на близкой к максимальной скорости вращения.

Встроенные асинхронные АС двигатели обычно являются трёхфазными и приводятся в действие специальными электроприводами – частотными преобразователями типа HF (high frequency). От преобразователя к шпинделю поступает ток переменной частоты и переменного напряжения. Скорость двигателя переменного тока определяется по следующей формуле:

Скорость (об/мин) = (частота в Гц x 120) / (# число полюсов мотора)

Таким образом, двухполюсный двигатель с максимальной скоростью 30 000 об/мин, требует привода, способного обеспечить полное напряжение на выходной частоте 500 Гц. Если применяется четырех полюсный мотор, требуемая максимальная частота составляет 1000 Гц.

Преобразователи ультравысоких частот являются разомкнутыми и подают напряжение и ток к шпинделю в реальном времени без обратной связи в контурах тока и положения. Однако многие преобразователи снабжены магнитной или оптической обратной связью, что обеспечивает программируемое позиционирование шпинделя, угла поворота шпинделя и операции нарезания резьбы. Программируемый угол поворота необходим для станков с автоматической сменой инструмента.

Конструкция воздушного лабиринтного уплотнения

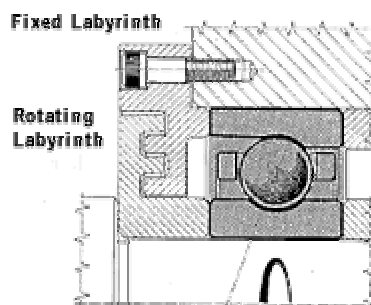


Рис. 8 Лабиринт и воздушное уплотнение (по материалам SNFA)

Подшипники для ВСО в высшей степени чувствительны к внешним загрязнениям. Попадание стружки, пыли, СОЖ и других внешних материалов в область подшипников могут вызвать повреждение подшипников и даже их отказ. Это особенно касается подшипников с перманентной смазкой.

Для защиты подшипников и шпинделя в целом от попадания внешних загрязнений в конструкции шпинделя применяются специальные уплотнения. Наиболее часто используются воздушные уплотнения. Наиболее простым методом защиты является подача сжатого воздуха под низким давлением внутрь шпинделя. Поток этого воздуха под низким давлением выходит наружу в носовой и задней части шпинделя, что предотвращает шпиндель от попадания загрязнений внутрь.

Это особенно важно для моторшпинделей вследствие часто встречающегося «Каминного эффекта». При работе шпинделя ротор нагревается. Образовавшееся тепло через подшипники передаётся к шпиндельному валу, который в свою очередь нагревается. При останове шпинделя горячий вал нагревает окружающий воздух, который расширяется и, как в камине, поднимается вверх и часто несёт с собой загрязнения, которые могут попасть внутрь шпинделя. Это обстоятельство является особо критическим при обработке графита.

Наиболее уязвима носовая часть шпинделя. Передние подшипники располагаются очень близко к зоне резания и должны быть особо тщательно защищены от попадания загрязнений. Обычные контактные уплотнения не работают в условиях ВСО. Для высокоскоростных шпинделей используются лабиринтные

уплотнения. Это бесконтактная система уплотнений, состоящая из неподвижной и вращающейся частей. Обе части соответствуют друг другу по форме и снабжены системой пазов, образующих перепускной канал для выхода сжатого воздуха. Если давление подаваемого в шпиндель сжатого воздуха соответствует заданным в инструкции по эксплуатации параметрам, шпиндель гарантирован от попадания загрязнений внутрь.

Системы крепления инструмента

В современных станках с ЧПУ часто используются системы автоматической смены инструмента (ATC Automatic Tool Change). Наиболее широкое применение нашли системы CAT, BT и ISO. В недалёком прошлом появились специально предназначенные для ВСО системы HSK.

Системы CAT, BT, и ISO были разработаны без учета особенностей ВСО. Применение этих систем оказывает негативное влияние на точность и качество обработанных поверхностей. Особенно критическим моментом является балансировка.

Шпиндель должен обеспечивать возможность установить и зажать оправку. Для этого на носовом конце шпиндельного вала имеется конус, точно соответствующий спецификациям CAT, BT, ISO и HSK. Кроме этого необходимо наличие механизма зажима, обеспечивающего удержание оправки в шпинделе при обработке. Это устройство — зажимная тяга — обеспечивает достаточное усилие, превышающее все силы, действующие в процессе резания. Наиболее часто используется пакет тарельчатых пружин для создания постоянного усилия. Один конец тяги захватывает головку инструментальной оправки и удерживает оправку в конусе. При смене инструмента гидравлический или пневматический цилиндр отжимает тягу и освобождает оправку.



Рис. 9. Встроенная система зажима HSK по DIN 69893 может использоваться с прецизионными цангами, оправками Weldon, патронами, работающими по принципу „горячей усадки», или фовальными оправками

Шпиндели производства IBAG Switzerland AG адаптированы под все имеющиеся на мировом рынке инструментальные патроны. Встроенные системы зажима HSK по DIN 69893, BT, BBT, IBAG SKI, SK, CAPTO Soromant выбираются заказчиками в зависимости от размера шпинделя и требуемой максимальной скорости вращения. Система IBAG SKI предпочтительна для шпинделей малых и средних размеров, HSK рекомендуется для шпинделей, диаметр которых превышает 120 мм. Патроны BT и BBT нашли широкое распространение в США и Азии.

Если шпиндель используется на станке, оснащённом системой автоматической смены инструмента из инструментального магазина, шпиндель оснащается специальными датчиками для контроля положения инструментальной оправки. Подробно система мониторинга высокоскоростных шпинделей описана в статье http://www.mashportal.ru/technologies_manufacturing-3143.aspx.

Заключение

Конструкция высокоскоростного шпинделя должна учитывать требования заказчика: необходимую мощность, скорость, момент, тип системы зажима инструмента, точность и долговечность. В зависимости от этих требований выбираются необходимые комплектующие, включая подшипники, конструкцию вала, двигатель, системы смазки и охлаждения.

Как было показано выше, в особое внимание при конструировании шпинделя уделяется подшипникам. В ряде случаев высокоскоростные шпиндели работают на максимально возможных скоростях и исчерпывают скоростной лимит подшипников для обеспечения максимальной производительности. Встроенные интегрированные двигатели имеют ограниченный вращающий момент. В конструкциях высокоскоростных шпинделей используются прецизионные подшипники в комбинации с системой воздушно-масляной смазки. Это вид смазки не только позволяет увеличить скорость вращения на 20% и более, но и выполняет функции охлаждения и очистки подшипников. Для обеспечения безотказной работы необходимо регулярное техническое обслуживание. Подача сжатого воздуха в лабиринтное уплотнение обеспечивают защиту подшипников от загрязнений.

Особое значение для безотказной работы высокоскоростного шпинделя имеет система зажима инструмента. Следующим вопросом предельной важности является балансировка шпинделя, системы зажима, инструмента. Залогом успеха применения ВСО является правильный выбор инструмента и стратегии обработки.

Таким образом, конструкция высокоскоростного шпинделя представляет собой целый ряд компромиссов. Максимально возможная скорость резания определяется размером и типом подшипников. Увеличение преднатяга и установка дополнительных подшипников увеличивают жесткость, но снижают скорость. Большая мощность двигателя увеличивает габариты и требует более сложных приводов. Большая скорость требует более точных и сложных систем зажима инструментальных систем, лучшего баланса и чистоты.

Статья подготовлена по материалам фирм

IBAG Switzerland AG www.ibag.ch

IBAG North America <http://www.ibagnorthamerica.com>

SNFA www.snfa.com