

Точность позиционирования при 5-осевой обработке

Компания HEIDENHAIN

5-осевая обработка становится в настоящее время неотъемлемой составляющей процесса обработки из-за непрерывно возрастающей сложности изготавливаемых деталей. Точность позиционирования при этом играет важную роль в итоговом качестве получаемых изделий. В статье рассматривается влияние точности позиционирования на качество 5-осевой обработки, приведены основные области применения 5-осевой обработки, представлены примеры обработки.

Ключевые слова: ЧПУ, 5-осевая обработка, точность, компенсационные перемещения, позиционирование, датчик угловых перемещений, датчик линейных перемещений, контур регулирования.

Производительность и точность являются важнейшими характеристиками металлообрабатывающих станков. 5-осевая обработка предоставляет возможность существенно повысить производительность. В сравнении с 3-осевой обработкой в большинстве случаев удается достичь более высокого объема стружки в единицу времени. При этом время обработки может быть существенно сокращено за счет возможности снижения времени переналадки вплоть до комплексной обработки детали за один установ.

Так как для 5-осевой обработки чаще всего требуются большие диапазоны перемещений линейных осей, то возрастает спрос на металлообрабатывающие станки с высокой точностью на всей длине зоны обработки. Кроме того, обе круговые оси 5-осевого металлообрабатывающего станка могут оказывать влияние на достигаемую точность. Для изменения ориентации инструмента относительно обрабатываемой поверхности наряду с круговыми осями в большинстве случаев перемещаются и линейные оси. Поэтому ошибки позиционирования могут быть заметны на обрабатываемой поверхности даже внутри небольшого диапазона перемещений. Явления, влияющие на точность в приводных механизмах, такие как погрешность шага винта, погрешность передаточного механизма, мертвый ход или термические расширения, могут приводить к производству деталей с браком. Таким образом, точность позиционирования линейных и круговых осей играет существенную роль в эксплуатационных показателях 5-осевого станка.

5-осевая обработка является в настоящее время неотъемлемой составляющей частью многих процессов обработки резанием. Видимые экономические преимущества вытекают из возможности обработки без смены инструмента, тем самым сокращая длительность производственного цикла одной детали. Одновременно с этим точность изготавливаемой детали существенно повышается.

Таким образом, при использовании дополнительных круговых осей становится возможен легкий подход ко всем участкам сложного контура детали (рис. 1), например, к углублениям в пресс-формах.

Наряду с этим становится возможным использование более короткого инструмента, не склонного к вибрации, что ведет в свою очередь к повышению объема стружки в единицу времени.

При обработке сложного контура с 5-осевой интерполяцией скорость резания может быть выдержана в узком диапазоне. Это положительно влияет на качество обработанной поверхности. Кроме того, использование высокопроизводительного инструмента для фрезерования свободного контура (например, тороидальной фрезы) возможно только при 5-осевой обработке.

Области применения 5-осевой обработки

Элементы конструкции летательных аппаратов. Высокая прочность и малая масса являются необходимыми и обязательными требованиями, предъявляемыми к деталям, изготавливаемым для воздухоплавания и космической индустрии. Для уменьшения веса «летающих» деталей они изготавливаются полностью из единой цельной заготовки. При этом увеличение объема стружки достигает 95%. Эти аспекты сказываются на увеличении стоимости материала заготовки. С использованием 5-осевой обработки становится возможным уменьшение



Рис. 1. Деталь со сложным контуром поверхности

массы детали без потери ее прочности, улучшение обтекаемости всех компонентов двигателя.

В автомобилестроении широко используются всевозможные пресс-формы для обработки листового металла и пластмасс. Достигающие в длину 6 м пресс-формы должны быть обработаны с высокой точностью вплоть до $\pm 0,02$ мм, чтобы обе половины пресс-формы могли соединяться с корректным зазором. При этом для обеспечения высокого срока службы пресс-формы требуется прецизионная точность изготовления всех функциональных поверхностей. Для обеспечения высоких требований к качеству наружной поверхности при изготовлении пресс-форм необходимо выдерживать достаточно малый шаг фрезерования. 5-осевая обработка позволяет сократить время обработки за счет облегчения доступа инструмента ко всем элементам сложных контуров штампов. При этом может быть использован специальный инструмент, например, тороидальная или радиусная

фрезы, который делает возможными более крупные шаги фрезерования при меньшем времени обработки.

В области медицинской техники существует высокая потребность в устройствах, применяемых для проведения специальных видов лечения или исследований. С возрастающей средней продолжительностью жизни возрастает и потребность в зубных и суставных имплантатах. Изготовление имплантатов происходит в большинстве случаев на фрезерных станках, так как именно фрезерная обработка позволяет производить продукцию небольшими сериями. По причине сложности формообразования при изготовлении имплантатов медицинская продукция относится к одной из самых больших областей применения 5-осевой обработки.

Требования, предъявляемые к позиционированию

При 3-осевой фрезерной обработке приводные оси перемещаются в пределах геометрических размеров детали с поправкой на диаметр инструмента. При 5-осевой обработке ориентация инструмента к поверхности детали может быть настроена (рис. 2). При неизменном положении нулевой точки инструмента требуется изменение ориентации фрезы с сопутствующим перемещением линейных осей. Подобные компенсационные перемещения приводят к неизбежному увеличению требуемого диапазона перемещений линейных осей. Так как с увеличением диапазона перемещений возрастают и величины ошибок позиционирования, то привода подачи 5-осевого станка должны обладать существенно более высокой точностью и повторяемостью.

Компенсационные перемещения линейных осей накладываются на заданные управляющей программой перемещения нулевой точки инструмента по осям X, Y и Z. За счет такого наложения изначально

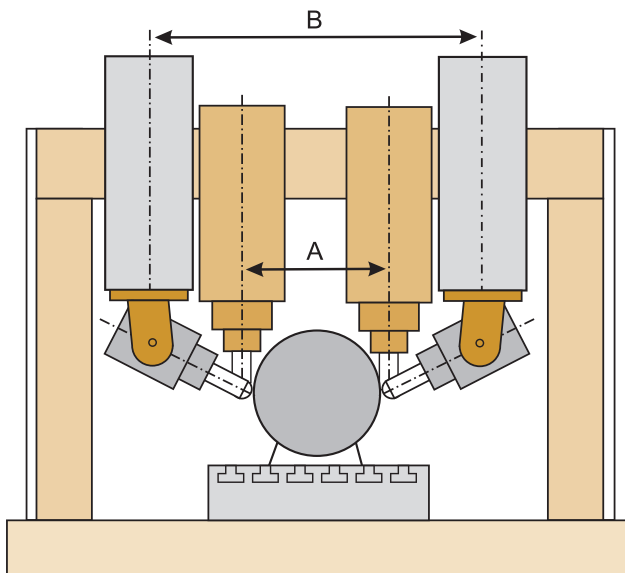


Рис. 2. Диапазоны перемещений: а) при 3-осевой обработке, б) при 5-осевой обработке, включая компенсационные перемещения

но запрограммированные перемещения по осям могут быть существенно превышены. Возрастающая скорость перемещения ведет к увеличению выделяемого тепла в электродвигателях, приводных механизмах и шарико-винтовых парах (ШВП). А увеличение количества выделяемого тепла может вести к возрастанию величины ошибки позиционирования. Во избежание появления бракованных деталей необходимым является обеспечение прецизионного позиционирования по осям подачи непосредственно на перемещаемых компонентах станка.

Позиционирование линейных осей

Положение линейной оси определяется посредством ШВП в сочетании с датчиком вращения или линейного перемещения. Если положение оси определяется через шаг винта в сочетании с датчиком вращения, то ШВП выполняет двойную функцию: как приводной механизм она должна передавать высокие нагрузки, а в качестве компонента, определяющего положение, должна обеспечивать высокую точность позиционирования. Позиционный контур регулирования содержит в данном случае только датчик вращения. Так как температурные расширения и износ материала в этом случае никак не компенсируются, то говорят о так называемом «полуоткрытом контуре». Ошибки позиционирования при этом неизбежны и могут существенно влиять на качество изготавливаемой детали.

Если же положение оси определяется при помощи датчика линейного перемещения, то позиционный контур регулирования охватывает все компоненты приводной механики. В этом случае говорят о так называемом «закрытом контуре регулирования». При его использовании люфты и погрешности в передаточных элементах не влияют на точность позиционирования. Точность измерения зависит практически только от места и качества установки датчика линейных перемещений.

Таким образом, высокие повторяемость и точность на протяжении всего диапазона перемещений линейной оси достижимы только при использовании закрытого контура, что приведет к получению высокоточных изделий и резкому снижению брака.

Позиционирование круговых осей

Для круговой оси действуют те же основополагающие принципы, как и для линейных осей. Если положение оси определяется при помощи датчика вращения на электродвигателе подачи, то говорят о полуоткрытом контуре регулирования, так как ошибки в передаточном механизме не компенсируются. Ошибки в передаточном механизме круговой оси возникают из-за эксцентриситета зубчатых колес, люфтов или упругих деформаций в месте контакта зубчатых колес и в подшипниках передаточного механизма. Эти ошибки ведут к возрастанию ошибки позиционирования и к существенному снижению повторяемости. Точность

позиционирования и повторяемость круговой оси можно существенно увеличить при использовании высокоточного датчика угловых перемещений. Так как положение оси в данном случае определяется не через двигатель, а непосредственно по самой оси, то говорят об использовании закрытого контура. Ошибки передаточного механизма круговой оси в этом случае не влияют на точность позиционирования. Точность, которую будет обеспечивать круговая ось в течение длительного временного диапазона, также существенно возрастает. Как результат – экономичное производство с минимальным числом бракованных деталей.



Рис. 3. 5-осевая обработка детали футбольный мяч Telstar

Примеры 5-осевой обработки Футбольный мяч Telstar

Футбольный мяч чемпионата мира FIFA 1970 г. был назван в честь первого гражданского спутника связи Telstar, который был запущен в космос в 1963 г. совместно NASA и компанией AT&T. Мяч Telstar состоит из 20 белых шестиугольников и 12 черных пятиугольников, которые сшиты между собой. Этот мяч является хорошим примером детали, которая может быть обработана на 5-осевом станке (рис. 3). Получаемая деталь является подтверждением высокой точности при использовании 5-осевого фрезерования.

Деталь в виде мяча Telstar была обработана на основе черновой заготовки в три этапа:

- 3-осевая фрезерная обработка пятиугольников с вертикальными проточками и наклонной фрезой;
- 3-осевая фрезерная обработка шестиугольников с горизонтальными проточками и наклонной фрезой;
- 5-осевая фрезерная обработка швов.

В точках пересечения сходятся в каждом случае три шва, которые были обработаны с различными предустановками инструмента. Точка пересечения швов может быть обработана точно только тогда, ког-

да центральная точка инструмента будет спозиционирована одинаково точно при трех разных ориентациях фрезы.

Если изделие в виде футбольного мяча изготавливается в полузакрытом контуре, то точность позиционирования и повторяемость ограничены из-за погрешностей передачи ШВП в линейных осях и механизме круговой оси. В результате – изменяющаяся ширина шва. В намеченной точке пересечения швы встречаются неточно, и смещение сильно заметно.

В закрытом контуре оси подачи достигают на всем диапазоне перемещений очень высокую точность позиционирования и повторяемость. Поэтому соседние области детали могут быть обработаны прецизионно даже при смене инструмента или большом перерыве между шагами обработки. Каждый из швов идеально пересекается с остальными. При этом ширина шва остается постоянной по всей поверхности мяча.

Полигональная деталь

5-осевая обработка предоставляет значительные возможности для снижения времени обработки. Боковая поверхность полигональной детали обрабатывается червячной фрезой за один поворот самой детали. По сравнению с 3-осевой обработкой шаровидной фрезой внешней поверхности той же детали, 5-осевая обработка занимает на 30 % меньше времени.

Механические ошибки круговой оси в полузакрытом контуре ведут к погрешностям позиционирования, что влияет на качество обрабатываемой поверхности. Поворотные оси часто оснащены приводом с многоступенчатым передаточным механизмом. Для равномерного перемещения поворотной оси все ее компоненты должны быть прецизионно изготовлены и установлены. Даже из-за незначительного эксцентриситета зубчатого колеса могут возникать существенные колебания скорости движения поворотной

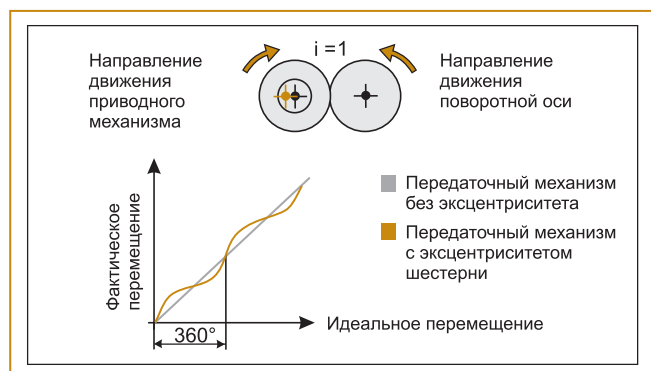


Рис. 4. Ошибки позиционирования круговой оси из-за эксцентриситета, передаточное отношение $i=1$

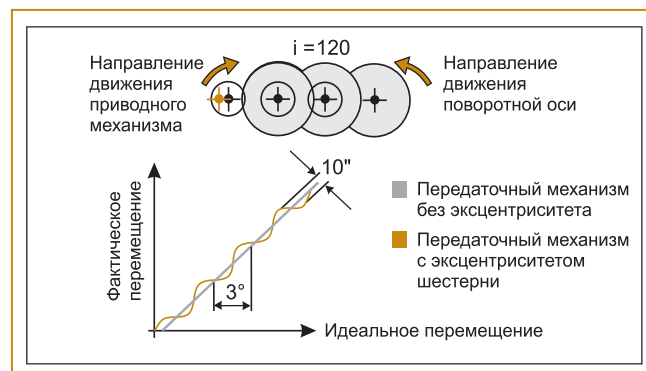


Рис. 5. Ошибки позиционирования круговой оси из-за эксцентриситета, передаточное отношение $i=120$

оси. Передаточный механизм с точно установленными зубчатыми колесами передает движение электродвигателя привода на поворотную ось без ошибок. Если в зубчатом колесе есть эксцентриситет, то при движении поворотной оси появляется синусоидальное отклонение (рис. 4).

Если поворотная ось находится внутри полузакрытого конура, то возникшие из-за неточностей в передаточном механизме синусоидальные отклонения не могут быть распознаны устройством управления приводом. Поворот электродвигателя привода, шестерня которого имеет эксцентриситет, приводит к погрешностям в диапазоне ± 10 угловых секунд при повороте оси. Такая погрешность повторяется каждые 3° относительно угла наклона (рис. 5).

Если полигональная деталь обрабатывается в полузакрытом контуре, то возникшие из-за неточностей в передаточном механизме ошибки позиционирования отчетливо проявились на боковой поверхности детали в виде волн. Результирующие отклонения от заданной формы составляют $\pm 0,015$ мм. Ошибка передаточного механизма заметна на тех участках детали, при обработке которых поворотная ось приходила в движение.

Если применяется датчик угловых перемещений с оптоэлектронным принципом считывания, то поворотная ось включена в закрытый контур. Датчик определяет положение непосредственно на самой оси. Поэтому влияние ошибки передаточного механизма распознается напрямую. Устройство управления приводом мгновенно реагирует на малейшие измеренные отклонения и выдает соответствующие поправки на электродвигатель оси. Таким образом, ошибки в передаточном механизме никак не влияют на результаты обработки.

Благодаря датчику угловых перемещений HEIDENHAIN боковая поверхность обрабатывается за меньший промежуток времени, но при неизменных качестве и точности.

Оппозитная обработка

Боковые поверхности призматических деталей часто обрабатываются оппозитно. При этом сначала обрабатывается одна поверхность с использованием поворотной оси, затем для обработки противоположной стороны деталь на поворотном столе поворачивается на 180 гр.

Оппозитная обработка предъявляет высокие требования к точности позиционирования поворотного



Рис. 6. Круговые измерительные системы HEIDENHAIN

стала. Даже небольшие угловые погрешности при повороте ведут к отклонениям от параллельности противоположных сторон детали.

Точность поворотного стола можно существенно повысить за счет использования прецизионного датчика угловых перемещений, который напрямую измеряет угол поворота стола. Ошибки в передаточном механизме поворотного стола распознаются датчиком угловых перемещений и затем компенсируются в устройстве управления (закрытый контур). В закрытом контуре датчик угловых перемещений обуславливает точность поворота. Датчики угловых перемещений с оптоэлектронным принципом считывания делают возможным поворот на $\leq 0,0003$ гр.

Измерительные системы

5-осевая обработка выдвигает особо высокие требования к точности механизмов осей подачи, так как диапазоны перемещений и усилия в сравнении с 3-осевой обработкой значительно возрастают. Термические расширения и ошибки в передаточных механизмах осей ведут к тому, что точность позиционирования определяет качество обработки. А брак и издержки удается существенно снизить путем повышения точности позиционирования.

На станках с высокими требованиями к точности позиционирования и скорости обработки необходимо применять датчики линейных перемещений для линейных, а датчики угловых перемещений для круговых и поворотных осей.

Датчики линейных и угловых перемещений HEIDENHAIN (рис. 6) определяют изменение позиции с высокой точностью непосредственно на самой оси. Механические элементы передаточного механизма не имеют никакого влияния на точность позиционирования, так как датчик распознает кинематические и термические ошибки или изменение усилий, которые затем учитываются в позиционном контуре управления. Поэтому можно исключить следующие источники возникновения ошибок:

- на линейных осях: ошибки позиционирования из-за нагрева ШВП, мертвого хода, вследствие деформации передаточного механизма при нагрузках, кинематические вследствие погрешности шага винта;
- на круговых и поворотных осях: ошибки передаточного механизма, мертвого хода, вследствие деформации передаточного механизма при нагрузках.

Контактный телефон (495) 931-96-46.

E-mail: info@heidenhain.ru <http://www.heidenhain.ru>