

## ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ МЕХ. И ФИЗ.-ТЕХН. ОБРАБОТКИ

УДК 621.91

Yoshimi Ota

**МЕТОДЫ ДОСТИЖЕНИЯ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА  
МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ С ЧПУ**

Приведены сведения об опыте работы японской компании Mori Seiki в области создания перспективного металлообрабатывающего оборудования с ЧПУ. *Привод по центру тяжести (DCG); компоновка станков с применением концепции Box-in-Box*

Со времени основания в 1948 г. компания Mori Seiki выпустила более 170 000 станков, что ставит ее в один ряд с крупнейшими мировыми станкостроителями. В штат компании входит 5060 человек. Торговые, сервисные и исследовательские подразделения расположены по всему миру, но производственные мощности Mori Seiki находятся только в Японии – это заводы в Ига, Чiba и Нара. Краеугольным камнем системы управления Mori Seiki является «производство инновационного и точного оборудования по конкурентным ценам, не доставляющего пользователю проблем». При этом компания стремится стать мировым лидером в производстве станков с ЧПУ: обрабатывающих центров, многокоординатных и шлифовальных станков. Эта цель вполне реальна – в 2007 г. доля на мировом рынке по количеству поставленных станков производства Mori Seiki превысила 5%.

Наряду с высоким качеством выпускаемой продукции Mori Seiki выделяется множеством инноваций, которые позволяют ей не ограничиваться существующими рамками и методами производства и постоянно находиться на острие развития станкостроительных технологий.

**1. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БАЛАНСА СИЛ**

С середины 80-х гг. скорость и точность механообработки росла быстрыми темпами. Однако в течение последних пяти лет научные исследования в области станкостроения, казалось, зашли в тупик. За счет повышения скорости обработки удавалось лишь немного сократить машинное время. При необходимости сохранить точность и качество обработки скоростью приходилось жертвовать. Mori Seiki уделяла большое внимание исследованию этой про-

блемы. Специалистам компании было понятно, что на пути высокой скорости и точности обработки лежит вибрация, которая возникает при перемещении узлов станка. Разработка Mori Seiki под названием Driven at the Center of Gravity (DCG) – привод по центру тяжести – стала решением этой проблемы. Идея DCG заключается в передаче усилия непосредственно к центру тяжести перемещаемого узла (рис. 1–2). Концепция DCG дает неоспоримые преимущества, но она же делает станки Mori Seiki одними из наиболее дорогих в мире.

В традиционных станках для передачи движения инструменту и детали используются шариковинтовые пары (ШВП) и ремни. Но они обычно передают усилие не к центру, а на периферию перемещаемого объекта. Из-за потери баланса и перекоса возникают вибрации, уровень которых пропорционален расстоянию от оси привода до центра тяжести узла.

Суть разработки заключается в том, что линия, соединяющая вектора приложения нагрузки двух ШВП, проходит через центр тяжести перемещаемого объекта. Конструкция такого станка предполагает размещение двух приводов на узле, который в традиционных станках управляется одним приводом, что и позволило разместить виртуальную точку перемещения привода в центре тяжести узла.

Специалисты компании проводили сравнительный анализ, в ходе которого устанавливали эффективность использования линейного двигателя и применения концепции DCG. Проведенные ими исследования показали, что для традиционной конструкции станков установка линейного двигателя лишь немного снижает колебания по осям X и Z, то есть эффект малозначителен по сравнению с использованием концепции DCG. При возникновении вибраций устройство ЧПУ реагирует на них как на от-

клонения от управляющей программы и пытаются скорректировать перемещение путем изменения подачи. Это в большинстве случаев приводит к еще большему усилению вибрации. Такой проблемы не возникает при использовании концепции DCG, поскольку она обеспечивает более точный контроль перемещения по осям.

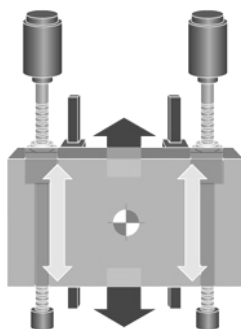


Рис. 1. Механизм подачи с использованием концепции DCG

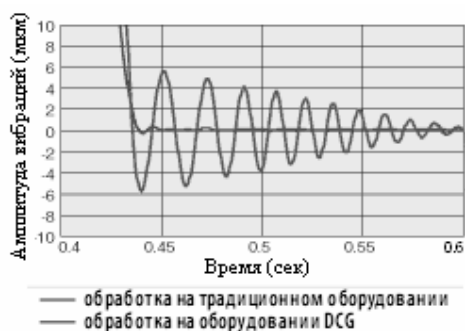


Рис. 2. Колебания при полной остановке подачи по оси Z

Для демонстрации этого эффекта были обработаны две детали. Разница видна даже при их визуальном осмотре (рис. 3). При отработке интерполяции кривых станок перемещает инструмент по траектории, состоящей из коротких прямых. При этом перемещаемый узел должен постоянно менять направление движения на небольшой угол. Чтобы не потерять скорость перемещения, узлу требуется придавать быстрое ускорение. DCG позволяет сравнительно быстро развивать максимальное усилие перемещения рабочих элементов. Следует заметить, что при использовании жесткого привода взаимосвязь между эффективностью обработки и стойкостью инструмента приобретает своеобразный характер. С одной стороны, снижение уровня вибраций положительно влияет на стойкость инструмента. С другой – более высокое ускорение подачи приводит к росту интенсивности нагрузки на инструмент.

Очевидно, что повышенная нагрузка не является особенностью применения технологии DCG, а объективна для данных условий обработки. В целом же стойкость инструмента существенно возрастает (рис. 4). В частности, специалистами компании сравнивался износ сверла диаметром 8 мм при обработке на станке NV4000, в конструкции которого использовалась концепция DCG, и на станке предыдущей разработки. Для достижения площадки износа 0,2 мм длина резания на традиционном оборудовании составляла 4 м, а для станка, построенного с использованием концепции DCG, она достигла 13,5 м.

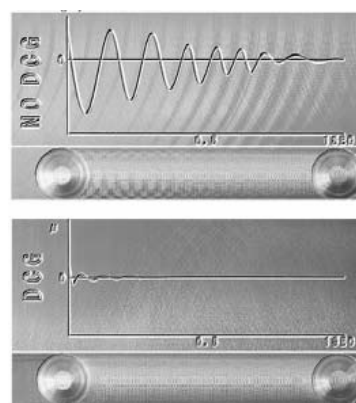


Рис. 3. Образцы, обработанные на традиционном оборудовании и на станке с использованием концепции DCG

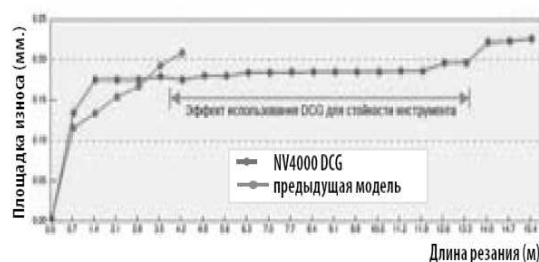


Рис. 4. Сравнение износа сверла при обработке на станке с DCG и на традиционном станке

Не менее значительный эффект применения DCG для увеличения стойкости инструмента достигнут при концевом фрезеровании. Высокая жесткость станка в данном случае позволяет существенно повысить скорость резания. Но часто обрабатываются детали с множеством коротких отверстий или элементов, которые требуют прерывать процесс резания. В данном случае жесткий станок позволяет сократить время ускорения и торможения и уменьшить общую длительность обработки на 20–30%. Возможности DCG были реализованы для достижения высокой точности обработки на вер-

тикальных обрабатывающих центрах и передачи больших ускорений перемещения узлов горизонтальных обрабатывающих центров.

Серия станков с использованием концепции DCG дает потребителю множество преимуществ – это высокое качество обработанной поверхности, точность, производительность и многое другое, что было достигнуто благодаря быстрому ускорению и радикальному снижению вибрации перемещаемых узлов. Сама концепция воздействия на центр тяжести не нова – она существовала 50 лет назад, но никто не мог ее реализовать, потому что серводвигатели (которых используется два) не были такими мощными, а электроника – такой развитой. В конструкциях некоторых современных порталных станков используется два ШВП, но связано это не с точностью, а с большим весом. Движение происходит очень медленно, так как его сложно контролировать одновременно на двух приводах. Существуют также разработки станков с двумя ШВП, целью которых является увеличение усилия фрезерования.

Одно из нововведений касалось повышенной точности измерения деталей станка. При этом использовалось большое устройство для 3D-измерений, которое позволяло обмерить весь станок. В целом, можно сказать, что Mori Seiki уделяло большое внимание сокращению издержек. Двойной привод, который является основой конструкции DCG, тому пример.

Такое решение стало возможным за счет «самостоятельного производства шариковинтовых пар нашей компанией». Действительно, для обеспечения высокой скорости одновременного перемещения двух ШВП крайне важна точность их перемещения, которая обеспечивается за счет высокой точности изготовления и сборки всех деталей. Большинство производителей станков приобретают подобные узлы у сторонних поставщиков. Но завод Mori Seiki в Иго уже 30 лет самостоятельно выпускает ШВП, потому что только так компания может гарантировать их качество. Винты обрабатываются от прутка до готового изделия на одной производственной линии, которая работает в автоматическом режиме. После закалки и отпуска прутки калибруются и режутся. Шлифовка производится на 6 специальных станках стоимостью около 1 млн долларов. На этих станках используются специальные люнеты скольжения, поскольку подшипники не позволяют обеспечить заданную точность обработки винта. Некоторые винты требуют внутреннего охлаждения, и для их выпуска используются два станка глубокого сверления. Каждый месяц

на линии обрабатывается 2500 винтов, 100% из них контролируется по параметрам шага, а после сборки ШВП осуществляется динамическое измерение момента.

## ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ КОМПОНОВОК ПРИВодОВ

Извечная проблема повышения производительности при горизонтально-фрезерной обработке заключается в обеспечении высокой скорости и больших динамических нагрузок, которые должно воспринимать использование технологии DCG. Компания Mori Seiki сумела достичь высокой скорости перемещения узлов, применив компоновку Vox-in-Vox. При традиционной компоновке горизонтально-фрезерного станка центр его тяжести не совпадает с осью X. Ввиду большой массы перемещаемой колонны и шпинделя эта конструкция не позволяет повышать скорость обработки за счет ускорения перемещений узлов станка. Речь идет о необходимости пожертвовать точностью ради скорости (или наоборот). Используемая Mori Seiki конструкция Vox-in-Vox (рис. 5) предполагает жесткую фиксацию колонн, в которых заключен суппорт, перемещаемый по оси X.

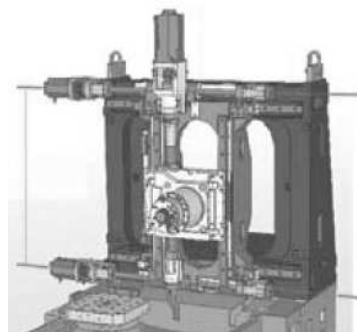


Рис. 5. Устранение недостатков традиционной компоновки горизонтально-фрезерного станка за счет использования концепции Vox-in-Vox

Первая большая коробка – это цельная литая станина, которая обеспечивает высокую жесткость. Вторая коробка – это инструментальная голова, которая находится в большой коробке. Такая компоновочная схема позволяет достичь хорошего баланса перемещаемых узлов. На горизонтально-фрезерных станках компоновка Vox-in-Vox играет большую роль при передаче высоких скоростей и ускорений, в то время как низкий уровень вибраций обеспечивается применением технологии DCG. 50%-ное снижение нагружения станка по оси X, помимо повышения жесткости за счет закрепления обеих сторон суппорта, было достигнуто благодаря

миниатюризации и максимальному облегчению конструкции.

На горизонтально-фрезерных станках и обрабатывающих центрах Mori Seiki используется оригинальная разработка компании – прямой встроенный привод DDM (Direct Drive Motor). Концепция встроенного привода позволила обойтись без ремней и шестерен при передаче вращения инструменту. DDM позволил существенно повысить скорость вращения, а за счет отсутствия механической передачи были исключены люфты и достигнута высокая точность привода. Помимо точности и скорости прямая передача имеет и другие преимущества. Инструментальная голова станка, оснащенного DDM, может наклоняться на  $\pm 120^\circ$ . Наличие большого свободного пространства позволяет улучшить отвод стружки.

### ПРИМЕНЕНИЕ ЯЧЕЕЧНОГО МЕТОДА СБОРКИ

Система ячеечной сборки внедрена на всех заводах и в каждом сборочном цехе Mori Seiki. Результативность такой схемы действий, которая отвечает требованиям прагматизма и оперативной корректировки эффективности процесса, чрезвычайно высока. При этом удается избежать простоев во время сборки оборудования. Более того, получая заказ, на предприятии точно знают, в какой день и час выйдет станок, даже если это будет через 5 месяцев. За сборку одного станка ответственность несет один оператор, действия которого жестко регламентированы с точки зрения их эффективности. Оператор сборки должен быть весьма компетентным и разбираться во всех системах станка. В организации труда такого ответственного специалиста все, что непосредственно не способствует изготовлению продукции, считается расточительными расходами и устраняется или передается вспомогательному персоналу. Работа сборщика подвергается тщательному учету с целью устранения слабых мест, непроизводительных процессов и потерь. Готовность решать проблемы и быстрая реализация мероприятий по рационализации производства помогают достигнуть такого высокого уровня производительности, который позволяет максимально эффективно использовать сложное и высокотехнологичное оборудование компании.

### ЭВОЛЮЦИЯ ТОКАРНЫХ И ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

Станки серии NT выпускаются на предприятии Mori Seiki в Чива, обеспечивая около 70%

от общего объема производства. В демонстрационном зале завода в основном стоят эти станки, которые используются и для тестовой обработки деталей. Небольшое предприятие обеспечивает 10% оборота Mori Seiki и 5% от натурального объема производимого оборудования. На этом заводе работает примерно 400 человек, около 100 из них занимаются сборкой станков, еще примерно 100 человек работают в конструкторском отделе. История обрабатывающего центра NT началась более 30 лет назад, когда компания ввела в производство обычный токарный станок. Следуя тенденции, возникшей в конце 80-х гг., функциональность токарных станков расширилась за счет операции фрезерования. В начале 90-х гг. появилась возможность автоматической замены инструмента.

Следующим логичным шагом стала возможность перемещения по оси Y. Станок серии MT появился в 1999 г. У станка сохранилась наклонная форма станины, что сохранило его схожесть с токарным станком. Но даже такая классическая форма позволяла считать станок серии MT обрабатывающим центром, поскольку у него перемещалась инструментальная голова, выполняющая функцию фрезерования. У конкурентов Mori Seiki, например, компании Okuma, подобные станки также основаны на токарных моделях, когда станина предусматривает возможность установки дополнительного узла, позволяющего осуществлять обработку по оси Y. Но в конструкции станины станка сохраняется наклонная форма, и компоновка во многом повторяет токарный станок. У подобных моделей существуют проблемы жесткости и нехватки рабочей зоны.

Инновационная разработка DCG (привод по центру тяжести) позволила Mori Seiki вывести вертикально-фрезерные, горизонтально-фрезерные и токарно-фрезерные станки на действительно новый уровень. Совмещение сразу трех новых технических решений – концепций DCG, Box-in-Box и DDM – позволило по-новому решить дилемму скорости и качества обработки. Большая рабочая зона позволяет за один установ обрабатывать деталь, которая на традиционных станках потребует изменения положения. Понятно, что при этом помимо увеличения времени на обработку теряется точность. Единственный недостаток конструкции Box-in-Box вытекает из ее основного преимущества. Станок становится выше при требовании увеличить рабочую зону. Также радикальное решение проблемы жесткости привело к тому, что станок конструкции «коробка в коробке» стал в

полтора раза тяжелее, чем предыдущая модель. Концепция интегрированного обрабатывающего центра NT появилась как комбинация существовавших у Mori Seiki конструкций токарного и горизонтально-фрезерного станков. При этом была применена концепция Box-in-Box, которая использовалась на станках NH. Тем самым конструкторы Mori Seiki смогли добиться существенного увеличения рабочей зоны, достигнуть точности горизонтального обрабатывающего центра при сохранении функциональности токарного станка. Сегодня NT стал флагманом среди токарно-фрезерных обрабатывающих центров производства Mori Seiki.

### РОЛЬ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ

В ходе любого производственного процесса могут происходить нарушения, которые его тормозят или даже приводят к сбоям. Привычная нам организация производства предполагает, что такую проблему перед ее устранением должны обсудить компетентные сотрудники. Но в производственной системе японских предприятий необходима быстрая реакция на нарушение процесса. Быстрота реагирования предполагает высокую персональную мотивацию и отличную компетенцию работников. Исследования, проведенные в 90-е гг., показали, что средняя длительность обучения новых работников в автомобильной промышленности Японии составляет 380,3 часов. Это время в 8 раз превышает длительность обучения в США и более чем вдвое – стажировку европейского работника. В Mori Seiki считают, что успех компании зависит от того, какое количество талантливых сотрудников ей удастся вырастить. Поэтому компетенция лежит в основе карьерного и материального роста японского работника. В отдельном разделе перечислены 13 сертифицированных специалистов-мастеров, которых не могут заменить машины и которые позволяют предприятию выпускать станки высокой точности и качества. Тренинги и стажировки проводятся на территории предприятия. Например, на заводе Mori Seiki в Ига расположена школа программного управления. В первую очередь, здесь проходят обучение сотрудники компании. Но даже если вы член команды, попасть в школу очень тяжело, так как она всегда переполнена. Одна из причин всеобщей вовлеченности в производственный учебный процесс очевидна – зарплата инженера и рабочего зависит от уровня его сертификата. Чтобы получить сертификат, необходимо пройти соответствующий курс обучения по утвержденной правительством программе. Наивысший уровень

сертификата – это специальный, ниже следуют 1-й, 2-й уровни и т. д. Два базовых тренинга – это 5-дневные курсы обучения на токарных станках и обрабатывающих центрах. Есть узконаправленные курсы для сервисных инженеров, сотрудников отдела продаж и т. д. Но даже опытные инженеры постоянно проходят практические тренинги. В ходе обучения работники знакомятся с последними новинками оборудования, которое они используют в работе, в частности, с измерительными системами. Учебный центр располагает всем необходимым оборудованием для развития практических навыков работы. Например, обучение сервисных инженеров проводится на всей гамме станков Mori Seiki, от самых старых до современных.

### ВЫВОДЫ

1. К современным методам совершенствования станков с ЧПУ относится применение концепции DCG – привода по центру тяжести с целью обеспечения баланса сил, действующих на перемещаемую часть станка. Это позволяет устранить ее перекосы и вибрации, повысить производительность и точность работы.
2. При разработке компоновок станков применение концепции Box-in-Box (коробка в коробке) наряду с DGD (прямого встроенного привода) обеспечивает возможность высокоскоростной обработки с большими силами резания при изготовлении точных деталей.
3. Условием эффективности производства станков является применение ячеечного метода сборки, предусматривающего оперативную корректировку процесса, и обеспечение персональной ответственности оператора сборки за качество каждого выпускаемого станка.
4. На базе учебного центра станкостроительных предприятий Mori Seiki предусмотрена система тренинга и стажировок, направленная на подготовку сертифицированных специалистов-мастеров. Обучение сервисных инженеров производится на всей гамме выпущенных станков.

### ОБ АВТОРЕ



**Yoshimi Ota**, генеральный директор компании «MORI SEIKI».