

Материал подготовлен компанией “ЦОЛЛА” на основе статьи “Which Five-Axis Machining Center is Right for You?”, опубликованной 25.04.2018 г. в ориентированном на вопросы металлообработки сетевом журнале “Modern Machine Shop” (MMSOnline.com), который выпускает компания Gardner Business Media.

Оригинал статьи можно найти по адресу: www.mmsonline.com/articles/which-five-axis-machining-center-is-right-for-you.

Какой 5-осевой обрабатывающий центр вам подходит?

©2018 Gardner Business Media, Inc.

При таком большом выборе 5-осевого оборудования как узнать, что лучше всего подходит для вас? Рекомендательный подход здесь таков. Сначала следует проанализировать, какие детали обрабатываются в вашем цехе и будут обрабатываться в будущем. Затем рассмотрите существующие процедуры обработки и возможные преимущества 5-осевых процессов.

Существует множество причин для того, чтобы воспользоваться преимуществами современных методов 5-осевой обработки. И первым делом надо отметить то, что они обеспечат вам доступ к пяти сторонам призматической заготовки – это позволит устранить дополнительные переустановы, наладки и операции. Хотя бы уже по одной этой причине применение 5-осевой обработки может быть оправдано для широкого диапазона задач, причем цена, вопреки ожиданиям, будет доступной. По мере усложнения деталей растет и окупаемость – за счет возможности фрезеровать конструктивные элементы замысловатой формы и контуры, которые либо вообще невозможно получить на традиционном 3-осевом станке, либо процесс будет крайне неэффективным.

Однако, учитывая большое количество предлагаемых на рынке вариантов 5-осевой обработки, как найти самый подходящий для своего цеха? Прислушайтесь к рекомендациям, которые дает **Jeff Wallace** – генеральный менеджер Центра превосходства **DMG MORI** для авиакосмической промышленности.

По его мнению, компания **DMG MORI**, предлагающая десятки моделей 5-осевых станков различных конфигураций, хорошо подготовлена для обеспечения перехода промышленности на более современную и постоянно совершенствующую технологию 5-осевой обработки. Независимо от того, впервые ли вы знакомитесь с

пятью осями или же хотите увеличить возможности имеющегося многоосевого оборудования, у вас имеется множество вариантов на выбор.

Почему 5-осевая обработка так необходима

Некоторые ошибочно считают, что 5-осевая технология нужна только для изготовления самых сложных деталей. Хотя такое мнение преобладает, значительное большинство её применений, тем не менее, служит просто для того, чтобы обеспечить возможность обработки заготовки с пяти сторон с одного установка. В случае 3-осевой обработки для изготовления детали может потребоваться два, три и даже больше установов. Но при подходе “делать всё сразу” все эти дополнительные наладки устраняются, что исключает и возможные ошибки при каждом переустанове. Таким образом, обосновать применение 5-осевой обработки очень просто: обеспечивается резкое сокращение числа переналадок, продолжительности цикла обработки и количества приспособлений.

Еще одним преимуществом 5-осевой обработки является возможность использования более короткого инструмента, так как инструмент с патроном может обойти препятствия на заготовке. Это особенно важно при обработке штампов/пресс-форм – их изготовители часто применяют удлинители патронов для того, чтобы добраться до глубоких полостей. Чем короче инструмент, тем меньше вибрация, поэтому допустимы более тяжелые или быстрые режимы резания; кроме того, улучшается качество поверхности, продлевается срок службы инструмента.

Существенным моментом для мастеровских, работающих по заказам, является то, что 5-осевое оборудование позволяет обрабатывать сложные детали из твердых материалов, которые,



в противном случае, пришлось бы отливать. Таким образом, можно быстро переключаться при изготовлении небольших партий или прототипов высокоценных деталей – прекрасная возможность отличиться от менее технологичных конкурентов и построить более прибыльный бизнес.

5-осевая технология должна соответствовать деталям

Первым делом, мастерской следует внимательно посмотреть на спектр выпускаемых деталей. Каковы их габариты? Вес? Какие уровни точности требуются при изготовлении?

К примеру, если выпускаются детали маленького или среднего размера, то лучшим выбором будет станок с наклоняемым столом. Для больших и тяжелых деталей – станок портального типа или горизонтальный обрабатывающий центр. Это соображение сузит спектр вариантов и поможет сравнить характеристики различных моделей станков в желаемом диапазоне.

Начать можно с конфигурации 3+2

Самый простой и наименее затратный способ обработки деталей с пяти сторон предоставляет конфигурация станка **3+2**. Для маленьких и средних станков это обычно означает следующее:

3-осевой обрабатывающий центр с наклоняемым поворотным столом для позиционирования детали. Конечно, это может быть осуществлено и с помощью вспомогательного 2-осевого стола на стандартном 3-осевом станке. Однако вариант с интегрированным наклоняемым поворотным столом обеспечивает

более высокую производительность, упрощает наладку и программирование обработки.

Когда на станке с конфигурацией 3+2 запускается собственная обработка, то 4-я и 5-я оси блокируются. На таких станках заготовку можно установить практически под любым углом к шпинделю и далее выполнять 3-координатную обработку. Такая возможность позволяет эффективно обрабатывать неожиданно сложные детали.

Если говорить о продуктах *DMG MORI*, то запатентованный наклонно-поворотный стол встроен в 3+2 станки серий **CMX U**. Как поясняет г-н *Wallace*, C-образная конструкция этих универсальных обрабатывающих центров дает возможность устанавливать шпиндель горизонтально или вертикально.

Продвигаясь к полной 5-осевой обработке

Следующий шаг – добавление полного одновременного управления обработкой, что обеспечивают станки другой конфигурации, представленные в серии **DMU** компании *DMG MORI*. Основное преимущество полного

5-осевого управления заключается в возможности динамически наклонять инструмент при резании, избегать столкновений, а также поддерживать постоянный наклон оси инструмента к обрабатываемым поверхностям скульптурного типа. По этим причинам 5-осевая обработка широко используется при изготовлении компонентов для авиационно-космической отрасли, а также ортопедических и других деталей с криволинейными формами.

При изготовлении некоторых других видов деталей, наличие пяти осей помогает задействовать режущий инструмент более



DMG MORI CMX 70 U

Иллюстрация с сайта www.dmgmori.com



DMG MORI DMU 50 3-го поколения

Иллюстрация с сайта www.dmgmori.com

эффективно. Наклон инструмента относительно поверхности заготовки обеспечивает лучшее использование всей рабочей части фрезы, а не только её конца.

Более того, в 3-осевых процессах финишной обработки контурных поверхностей существует мало альтернатив применению сферической концевой фрезы. Для того чтобы получить гладкую поверхность, требуется выполнить множество проходов с очень малым шагом, что занимает много станочного времени и может потребовать дополнительного процесса для сглаживания. В случае же работы по пяти осям вы можете использовать для финишной обработки некоторых контурных поверхностей даже пальчиковые фрезы. В таком процессе (иногда его называют “*Sturtz milling*”) инструмент наклоняется так, чтобы обработка поверхности детали велась радиусной частью инструмента.

При полном 5-осевом управлении появляется больше возможностей добраться до конструктивных элементов детали, так как инструмент может динамично избегать столкновений. Помимо обработки труднодоступных элементов (например, углов карманов или бобышек), можно получать и более гладкие поверхности. Эти возможности позволяют устранить необходимость в дополнительных операциях при изготовлении штампов/пресс-форм.

Повышается точность и производительность

Требования более высокой точности накладывают более жесткие ограничения при выборе конструкции станка и системы управления движением. Таким требованиям отвечает



серия станков **NMV** компании **DMG MORI** – это вертикальные обрабатывающие центры, в создании которых были использованы новейшие технологии этой компании: **DDM** (*Direct Drive Motor*), **DCG** (*Driven at the Center of Gravity*) и **ORC** (*Octagonal Ram Construction*).

Особенно важное значение для обеспечения высоких характеристик этих станков имеет применение моторов с прямой передачей вращения (**DDM**) для поворотных осей **B** и **C**,

на которые иногда налагаются жесткие требования по ускорению/замедлению – например, при обработке моноколёс или импеллеров.

Первым делом надо отметить, что сервоприводы с прямой передачей работают быстрее: 50 об/мин по оси **B** (наклон) и более 1200 об/мин по оси **C** (с дополнительной опцией токарной обработки). В случае прямой передачи нет люфта, который часто заметен у большинства редукторных передач. Шпиндель на станках серии **NMV** также вращается мотором прямой передачи, который обеспечивает полную мощность в широком диапазоне скоростей, причем с более быстрым разгоном/замедлением.

Существенно и то, что станок имеет 8-угольную вертикальную раму с четырьмя направляющими, которые расположены по диагонали друг к другу, связывая раму в середине. Г-н **Wallace** говорит, что такая конструкция позволяет контролировать термическое смещение и лучше гасит вибрацию.

Еще одна платформа станков **DMG MORI** для 5-осевой обработки – серия **DMU monoBLOCK**. Эта серия предлагает широкий диапазон опций, что позволяет лучше конфигурировать станки для множества применений. Можно достичь еще более высоких уровней точности с



DMG MORI DMU 125 monoBLOCK



DMG MORI NMV 8000 DCG

помощью системы охлаждения, которая охватывает серводвигатели и станину, коробку скоростей оси С и охлаждаемую изнутри шарико-винтовую передачу оси Х. Станки оснащаются мультисенсорной системой загрузки/выгрузки с системой управления в режиме реального времени, которая может компенсировать небольшие погрешности, вызванные температурными, инерционными и другими физическими факторами.

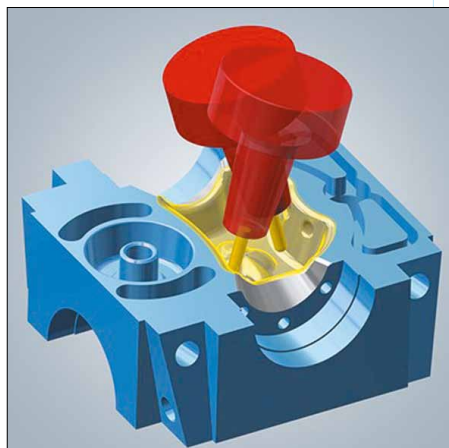


Хотя в станках этой серии используется наклоняемый стол, они могут справиться с удивительно крупными заготовками. Так, самая большая модель позволяет обрабатывать заготовки весом до 6 тонн, обеспечивая следующие перемещения по осям X-Y-Z: 1336 мм × 1250 мм × 900 мм. При необходимости станок можно оснастить еще более быстрым столом, который позволяет выполнять вертикальное точение и 5-осевую фрезерную обработку.

Эти 5-осевые станки, обеспечивающие возможностью интеграции с системами промышленной автоматизации (такими, как устройство смены паллет), находят широкое применение во многих отраслях – авиакосмическая, энергетическая, изготовление медицинской техники, изготовление пресс-форм и др.

Соображения в отношении САМ-систем

Что еще пугает многих в 5-осевой обработке, так это подготовка управляющих программ. Однако в последние годы САМ-системы активно развивались и стали намного проще в применении. Функциональные возможности этих систем позволяют создавать 5-осевые траектории инструмента, а также, как и раньше, работать в привычном 3-осевом контексте. Таким образом, производства могут использовать хорошо знакомые стратегии обработки, дополненные функциями, которые обеспечивают 5-осевую обработку.



Современные САМ-системы рассчитывают движение фрезы по множеству поверхностей с постоянным углом наклона и автоматическим отслеживанием ограничений детали и станка, предотвращением случайных зарезов смежных поверхностей. Некоторые системы предлагают стандартные процедуры для обработки таких общераспространенных 5-осевых деталей, как лопатки и турбины. Более того, САМ-вендоры

и их партнеры предоставляют постпроцессоры, которые могут работать почти с любым станком. Решения от *DMG MORI* для симуляции обработки, такие как *Virtual Machine* и *MfgSuite NC Simulation*, позволяют проверить качество УП еще до передачи в цех.

Управление станком также стало гораздо более удобным. Например, пользовательский интерфейс *CELOS* от *DMG MORI* может автоматически проверять в 3D все перемещения на предмет столкновения шпинделей, столов, инструмента, заготовки и оснастки; при обнаружении проблем станок остановит операцию.

Кроме того, система ЧПУ обладает некоторыми стандартными возможностями, которые помогают при настройке и управлении инструментами, предоставляют информацию о производстве и др. Например, функция-помощник (*Job Assistant*) дает оператору пошаговые инструкции по настройке и проведению контрольных измерений. Средства автоматического сканирования определяют положение заготовки на столе и изменяют значения смещения, что устраняет необходимость точно выставлять её по осям – это значительно производительнее процессов выравнивания и выставления нулей деталей при множестве переустановов. Таким путем гарантируется, что заготовка будет правильно позиционирована внутри доступной для 5-осевой обработки области.

Еще одно преимущество системы ЧПУ *DMG MORI* – настраиваемый интерфейс, который позволяет пользователям сконфигурировать его так, чтобы он выглядел так же, как их текущие системы. Интерфейс *CELOS* будет походить на СЧПУ *Fanuc* или *Siemens*, что расширяет зону комфорта для мастерских, которые предпочитают интерфейс, аналогичный остальному оборудованию.

Независимо от того, считаете ли вы 5-осевую обработку

чем-то сложным, предназначенным не для вашего предприятия, или вас устраивает имеющаяся технология 10-летней давности, настало время еще раз обратить на это пристальный взгляд. Помочь в поиске наиболее подходящего вам типа станка на сайте *DMG MORI* может ассистент – *Machine Selector* (<https://us.dmgmori.com/products/machines/machine-selector>), упрощающий выборку моделей по желаемым видам обработки и системам ЧПУ.👁

5-координатная обработка шлема Дарта Вейдера с помощью *Mastercam*

Непосредственным участником рекламной кампании 5-осевых обрабатывающих центров *DMG MORI* серии *DMU monoBLOCK* стала и московская компания «ЦОЛЛА», авторизованный дистрибьютор *CAM*-системы *Mastercam*.

На прошлогоднем чемпионате *WorldSkills Hi-Tech* в Екатеринбурге, параллельно состязаниям участников, на станке *DMU 75 monoBLOCK* публично демонстрировалась 5-осевая обработка модели шлема-головы Дарта Вейдера (www.mastercam-russia.ru/presscentr_doc_257.html). Соответствующий комплект УП был разработан средствами *Mastercam 2018* с применением модулей *Mill 3D* и *Multiaxis*. О том, как происходило программирование обработки, рассказывает **Владимир Воржаков**, технический директор «ЦОЛЛА».

Первоначальная черновая обработка проводилась «Динамической выборкой» в режиме 3+2 с помощью концевой фрезы диаметром 16 мм со скругленной кромкой 2 мм. При этом контроль модели заготовки осуществлялся не постоянно, а по мере необходимости, что позволило, во-первых, исключить рабочие проходы по воздуху, во-вторых, оптимизировать вычислительные ресурсы рабочей станции при решении задачи оптимизации перемещений с многократными пересчетами траекторий инструмента. Во многих траекториях и моделях материала (заготовки) возникала необходимость определения остаточного объема материала от предыдущих операций. Система *Mastercam* позволяет устанавливать ассоциативные связи, выбирая необходимые предыдущие операции или модели заготовки. В результате при проработке проекта и многократных расчетах различных вариантов, связанных с оптимизацией траектории (для уменьшения машинного времени), ассоциативно связанные элементы технологического процесса обновляются автоматически. Благодаря этому, программисту не нужно думать о том, как изменения скажутся на всей последующей обработке – достаточно только посмотреть результат, и если он его не устроит, то внести корректировку. Работая над проектом таким способом и внося только необходимые правки, можно сэкономить массу времени.

Что особенно радовало в процессе разработки УП, так это возможность выявлять столкновения всех «нережущих компонентов» фрезы с постоянно изменяющейся заготовкой – не только при черновой, но и при чистовой обработке, в том числе на 5-осевых операциях. Как результат, еще на этапе



Владимир Воржаков

предварительной подготовки УП, до проверки при помощи симуляции обработки на виртуальной модели станка, уже была полная уверенность в том, что ни хвостовик, ни шейка с обрабатываемой заготовкой соприкоснуться не будут.

Чистовая же обработка была реализована преимущественно с помощью траекторий 5-осевой непрерывной обработки. Использовались две стратегии: «Параллельная» и «Морфи». То есть, из всего арсенала многоосевых траекторий *Mastercam* в данном случае были задействованы всего две. Почему так? Объясняется это просто: помимо того, что система предлагает разнообразие траекторий 5-осевой обработки, каждая из них еще имеет множество опций, которые и позволяют получить в итоге именно то перемещение инструмента, которое задумал технолог-программист (даже если он не до конца представлял, как траектория будет выглядеть детально).

При начальном программировании 5-осевой траектории лучше всего задать самый минимум условий обработки; остальные параметры уже имеют оптимальные установки по умолчанию. Нам нужно получить лишь предварительную «простейшую» траекторию и уже потом постепенно добавлять ограничения, переключать опции, постоянно пересчитывать, постепенно подводить траекторию к идеальному результату. При таком подходе даже начинающий программист может справиться с, казалось бы, весьма сложной многоосевой обработкой. Ну а если что не так – *Mastercam* подскажет, что и где нужно поменять.



Огромное число опций (на самом деле очень нужных) позволяет запрограммировать здесь и 3-осевую обработку, когда в 3D-операциях не хватает некоторой специфической

функциональности. В этом случае надо просто применить 5-осевые операции, но при этом в меню “Управление наклоном инструмента” включить параметр “3 оси” – так можно добиться очень хороших результатов.

Проевшие обучение в ООО “ЦОЛЛА” пользователи *Mastercam* применяют этот прием уверенно и эффективно.

Из наиболее примечательного в программировании 5-осевой обработки в *Mastercam* следует отметить контроль на столкновение компонентов фрезы и патрона с рабочими и контрольными поверхностями, а также возможность задавать величину зазоров от нережущих элементов фрезы и патрона (с огромным количеством опций для контроля поведения при конфликтах). При программировании обработки шлема Дарта Вейдера хватило всего двух опций:

- Автоматический боковой наклон инструмента;
- Отвод инструмента вдоль своей оси.

Вообще говоря, при программировании в *Mastercam* многоосевой обработки с включением опции контроля столкновений один момент можно опустить – речь идет о задании стратегии управления наклоном оси фрезы. То есть, в этом отношении целесообразно полностью довериться САМ-системе с её автоматическим изменением наклона инструмента. Результат нередко оказывается намного лучше, чем при самостоятельном управлении наклоном фрезы.

Надо также подчеркнуть, что при подготовке УП для таких сложных деталей, как шлем Дарта Вейдера, – когда движется всё и одновременно, на предельных значениях (близких к “концевым выключателям”), иногда на расстоянии порядка одного миллиметра друг относительно друга – без симуляции обработки в 5-ти осях просто не обойтись. С этой задачей *Mastercam* тоже справился на отлично.

Таким образом, выбор “партнерских средств” для рекламы замечательных станков *DMG MORI* оказался успешным и весьма убедительным. 🤖

