

Мы продолжаем серию публикаций, адресованных небольшим производственным компаниям, которые нацелены на развитие имеющегося потенциала и рост благополучия своего персонала. Оригинальные материалы на английском языке, которые легли в основу этой статьи, можно найти в блоге пользователей Mastercam ([www.mastercam.com/en-us/Communities/Blog/PostId](http://www.mastercam.com/en-us/Communities/Blog/PostId)).

# Многоосевой образ мышления

## По материалам пользователей Mastercam

Группа компаний ЦОЛЛА

[www.mastercam.ru](http://www.mastercam.ru)

Многоосевое оборудование с ЧПУ может предоставить значительные преимущества по сравнению с 3-осевыми станками. Но чтобы воспользоваться всеми преимуществами многоосевой обработки, вы должны научиться по-другому думать в отношении того, как выстраивать свои производственные процессы.

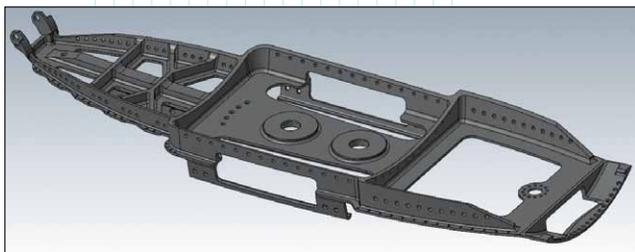
### Часть 1. Зачем нужна многоосевая обработка?

Во всём мире ситуация такова, что когда на повестку дня выходит тема использования многоосевого оборудования, многие производственники ощущают угрозу и начинают защищаться. Они сразу представляют себе сложное и дорогостоящее оборудование со множеством шпинделей и осей, для приобретения и освоения которого у них не хватает финансовых возможностей и интеллектуальных ресурсов.

Вместо того, чтобы заранее пугаться своих смутных представлений о том, что что-то пойдет не так, лучше подробно разобраться с этой концепцией и понять её преимущества. Они неоспоримы и очевидны:

#### ✓ Отпадает необходимость переустановов заготовки

Каждый переустанов недообработанной детали под другим углом означает простой станка и затраты времени квалифицированного оператора. Результатом становится значительная потеря производительности – как оборудования, так и



При виде конструкций такого рода вспоминается анекдот про строителей, перефразировав который можно получить ответ металлообрабатывающей фирмы на предложение изготовить партию таких деталей: “Быстро. Качественно. Дёшево. Выбирайте любые два пункта!” Применение многоосевой обработки делает реальными все три пункта

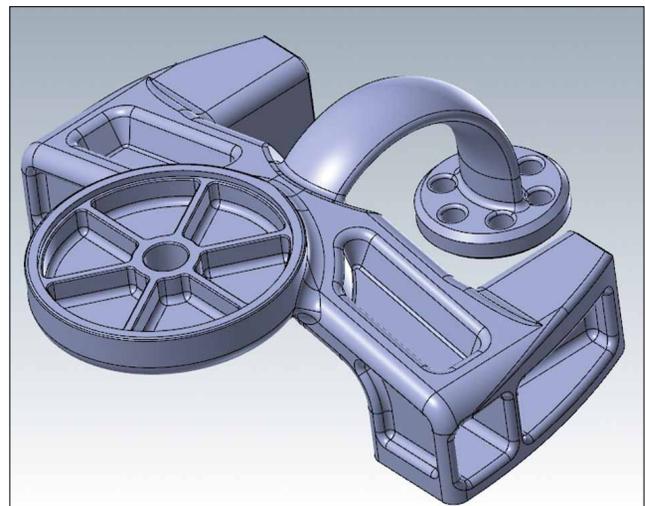
специалистов. Проблема усугубляется при обработке большого количества идентичных деталей, но это может быть критичным фактором и для маленьких партий. Сокращение затрат времени на установ даже относительно простых деталей может повысить производительность на 25÷50%, а для геометрически сложных и прецизионных деталей – еще больше.

#### ✓ Повышается точность

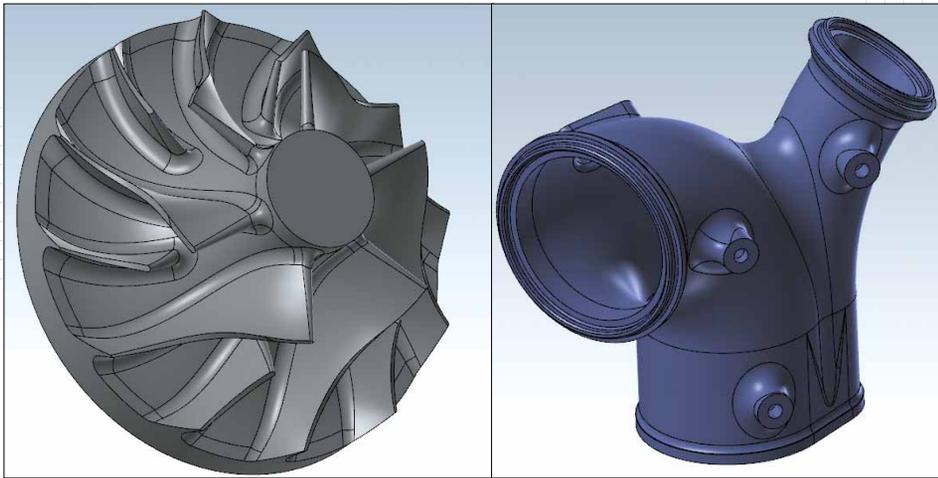
Каждый дополнительный переустанов вносит лишнюю погрешность позиционирования, что может приводить к браку или непостоянству результатов обработки.

#### ✓ Повышается эффективность использования рабочей силы

Технолог-программист, имеющий опыт работы с 3-осевым оборудованием, пройдя соответствующий курс обучения и освоив необходимые методики, сможет подготавливать УП и управляться с несколькими многоосевыми системами, так как ему не надо будет тратить много времени на скрупулезные операции установка заготовок.



Изготовление такой детали на 3-осевом станке в принципе возможно, однако количество переустановов, дополнительных приспособлений и крепежа сделают продукцию “золотой”. Применение 5-осевой обработки позволит в разы снизить затраты на производство и повысить качество изделия



*Есть целый ряд дорогостоящих изделий, доступ к контрактам на изготовление которых открывается при наличии многоосевого оборудования и хорошей CAD/CAM-системы. Не упускайте заказы и возможность заработать!*

### ✓ Открываются двери для новых возможностей

По всей видимости, появившаяся способность цеха делать сложные детали – с высокой точностью, по конкурентным ценам и с разумными сроками поставки – откроет глаза текущим и потенциальным заказчикам.

Подытоживая, можно сказать: всё больше пользователей приходят к выводу, что использование многоосевого оборудования становится важным, если не обязательным, аспектом ведения их бизнеса. И хотя важность перехода на многоосевое производство возрастает, это не должно быть слишком сложным делом. Цель – максимально упростить процесс перехода.

## Часть 2. Правильные вещи – оборудование

Чтобы понять, какое оборудование вам необходимо, следует провести развернутый анализ.

Выбор оборудования – одно из самых важных решений в отношении расширения возможностей многоосевой обработки. Чтобы достичь своих целей, вам вовсе не обязательно покупать самые дорогие станки, но при этом важно помнить, что обычно вы «получаете то, за что заплатили».

Рассмотрим несколько вопросов, на которые следует ответить, чтобы облегчить процесс выбора правильного оборудования:

- Работы какого типа предприятие делает сейчас? Оглянитесь: какие рабочие места задействованы?
- Выполняемые работы – это именно то, что вы планируете делать следующие пять лет, или же вы думаете об изготовлении чего-то другого?
- Размеры изготавливаемых сегодня деталей вас устраивают, или же вы думаете о выпуске деталей большего размера?
- Какая конфигурация нового станка лучше подойдет как для изготовления текущих деталей,

так и для перехода в будущем на другие виды деталей: голова/голова, стол/стол или голова/стол. Каждый вариант предпочтителен для определенных видов работ.

Важное соображение при выборе оборудования – как это повлияет на программиста/оператора. На многих производствах, особенно маленьких, NC-программист и оператор станка – это один и тот же человек. В идеале новый многоосевой станок высвободит время программиста/оператора, и он сможет подготовить больше управляющих программ, поскольку будет тратить меньше времени на переустанов деталей. Однако, это преимущество может быть нивелировано длительностью периода освоения подготовки УП для многоосевой обработки.

В этом случае хорошая стратегия будет такой: наращивание многоосевых возможностей производства маленькими шагами. Неплохо начать с приобретения простого поворотного устройства, которое легко монтировать/демонтировать на 3-осевом станке. Это позволяет начать работу с индексным столом, а затем постепенно перейти к работе, требующей непрерывного 4-осевого движения. Следующий этап – это уже 5-осевой станок с двумя поворотными осями. Программисты поначалу могут заблокировать одну ось и выполнять обработку с непрерывным вращением по другой оси. В дальнейшем, набравшись опыта, они могут перейти к более сложным работам на специализированном 5-осевом станке.

Даже тогда, когда доступно идеально подходящее оборудование, многие небольшие компании и производственные мастерские медлят с переходом из-за опасения увязнуть в непредвиденных тонкостях, которые задержат внедрение и окупаемость инвестиций. Но эти важные особенности можно просчитать и учесть в планах.

## Часть 3. Приобрели правильное оборудование – что еще?

Чтобы максимально задействовать возможности своего многоосевого производства, надо понимать, куда еще требуется вложить средства.

Приобретение даже идеально подходящего для ваших задач многоосевого оборудования само по себе еще не гарантирует беспрепятственный переход на такой стиль производства. Есть несколько соображений, которые следует учитывать, чтобы использовать эти инвестиции максимально эффективно:

### ✓ Подходящая CAD/CAM-система

Мало купить подходящий многоосевой станок – вам еще понадобится и соответствующая CAD/CAM-система, которая позволит загрузить его работой. Ручное программирование на таком станке – это пустая трата времени, и такой подход полностью противоречит тем целям, ради которых приобретается многоосевое оборудование. Хорошая CAD/CAM-система позволяет подготавливать УП лучшего качества, в большем количестве и быстрее, что облегчает использование возможностей многоосевого оборудования в полной мере для повышения отдачи.

Следует отметить, что обязательно **нужен хороший модуль для компьютерной симуляции обработки** с учетом реальной конструкции станка. В многоосевой среде происходит так много всего и сразу, что программист (даже очень хороший) не сможет учесть всё, просто глядя на код. Если в арсенале вашей CAD/CAM-системы нет такого функционала симуляции, то для верификации УП вам придется использовать дорогостоящий станок в цехе. А это не только опасно, но еще и вызывает огромные траты времени – и машинного, и сотрудников.

Потери из-за упущенной возможности применения первоклассной CAD/CAM-системы со временем увеличиваются, так как разработчики ПО непрерывно совершенствуют свои продукты, чтобы обеспечить их пользователям еще больше конкурентных преимуществ. Ваши конкуренты смогут использовать эти усовершенствования, а вы – нет.

### ✓ Хороший постпроцессор

Перед тем как переходить с индексной на непрерывную многоосевую обработку, **убедитесь, что в**

**комплекте вашей CAD/CAM-системы имеется подходящий постпроцессор**, который настроен под конфигурацию системы ЧПУ вашего многоосевого станка и уникальные требования вашего производства, а формируемые G-коды подходят для станка в полной мере.

Это очень важный момент, поскольку предлагаемые на рынке станки очень редко имеют одинаковую конфигурацию. Дело в том, что конфигурации варьируются в зависимости от предпочтений изготовителя, или могут быть изменены дилером согласно его представлению о предпочтениях в конкретном географическом месте. Если выход постпроцессора не будет соответствовать всем нюансам конкретного оборудования, то УП не будет обрабатываться хорошо, если вообще сработает. Непонятное поведение станка может серьезно задержать успешный запуск новых производственных возможностей, или, что еще хуже, привести к поломке.

Простой пример. Предположим, что у станка есть оси A и C, и что ось C повернута на 359 градусов, а в следующей команде УП указано значение 1 градус. Что должно произойти? Надо ли повернуть ось на два градуса? Надо ли поворачивать всегда по часовой стрелке/ всегда против часовой стрелки/ в кратчайшую сторону/ в абсолютных значениях/ в приращениях? Всё это зависит от настроек системы ЧПУ конкретного станка, которые могут быть изменены (и тот парень, который у вас устанавливает станок, обычно их меняет).

Таким образом, у вас в цехе могут стоять два как будто одинаковых станка, но если их устанавливали разные специалисты, то может статься, что для них нужны разные постпроцессоры. И в жизни такое случается постоянно. Поэтому вы должны

убедиться, что постпроцессор точно сконфигурирован под конкретный станок. Чтобы опередить конкурентов и по времени, и по финансам, для большинства пользователей очень полезной будет помощь профессионалов по разработке “пуленепробиваемого поста”.

### ✓ Лучшие инструменты

При освоении огромных возможностей многоосевого производства убедитесь, что получаете все преимущества, используя самые лучшие из доступных режущих инструментов.

С другой стороны, здесь надо отметить, что **многоосевые станки позволяют применять более короткие инструменты** и держатели, чтобы дотянуться до тех



*Слева показан некий очень точный и быстрый станок, справа – его симуляционная модель. Риторический вопрос: на чём лучше производить отладку и проверку УП без боязни “угробить” оборудование?*

*Всегда пользуйтесь компьютерными средствами симуляции, даже для относительно простых деталей. Не забудьте, что таким образом можно проверить и правильность расположения детали в пространстве станка*

мест, для обработки которых на 3-осевом станке требовались длинные тонкие фрезы. Как результат – меньше вибраций, лучшее качество поверхностей, более точная геометрическая форма, и всё это получено с помощью стандартных, более дешёвых инструментов. Так можно реально экономить деньги.

#### ✓ Обучение

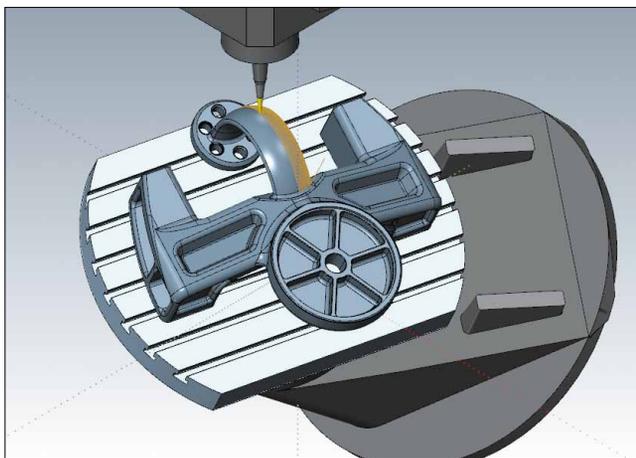
Приобретение *Ferrari* само по себе не сделает вас лучшим водителем. Необходимы и обучение, и опыт, чтобы выжать максимум из гоночной машины. То же самое верно и для многоосевого производственного оборудования. **Задачи обучения и повышения квалификации персонала должны быть встроены в бюджет поддержки многоосевого производства.**

### Часть 4. Осваивайте пространственное программирование обработки

Надо понимать, что создание хороших многоосевых траекторий требует креативности. Работа с деталью ведётся в пространстве, а не в заранее известном положении в крепежном приспособлении.

Для этих задач САМ-система столь же необходима, как молоток для плотника: без этого важного инструмента работу сделать не удастся. Однако, если дать один и тот же молоток двум разным людям, то окажется, что один может построить целый дом, а для другого проблематично просто забить гвоздь. Магия – не в молотке, а в мастерстве плотника, который его использует. Эффективные многоосевые УП – результат не только умения (можно научиться), но и состояния ума, образа мышления, который приходит с опытом.

Современные САМ-системы обладают очень похожими возможностями по генерации траекторий инструмента для многоосевого оборудования. В некотором смысле создание траекторий – это самая простая часть большинства производственных решений, но значительная часть



*Правильное расположение детали в пространстве станка позволит минимизировать перемещения и улучшить качество обработки!*

технологов-программистов пытается начинать как раз с этого – еще до того, как представит себе всё решение в целом. И здесь очень легко увязнуть, перемудрить и усложнить процесс. Сам того не заметив, программист может загнать себя в угол.

Возьмем, к примеру, крепление детали. Большинство новичков в многоосевой обработке продолжает мыслить так же, как и при обработке по трем осям. Одна из первых вещей, о которой они задумываются: “Как мне закрепить данную деталь?”. Опытный же специалист оставит это решение на потом. Вначале он поместит деталь в оптимальную позицию в рабочем пространстве станка – в наиболее удобную зону. Он удостоверится, что минимизировал перемещения рабочих органов станка – это достигается ориентацией детали в соответствии с кинематической конфигурацией конкретного станка. Кроме того, рекомендуется заранее планировать, какие инструменты будут использоваться – это должны быть самые короткие из возможных инструменты с самыми жесткими патронами.

Подумайте о последовательности операций и переходов. Можете ли вы изготовить всю деталь с одного установа? Какие режимы резания возможны для данного материала и имеющихся инструментов? Достаточны ли скорость вращения шпинделя и/или мощность станка?

Леонардо да Винчи как-то сказал: “Простота – это предел совершенства”.

Эту мудрость следует держать в уме, планируя свои многоосевые производственные процессы. Используйте принцип *KISS* (*Keep It Simple, Stupid* – делай проще, дурачок!). Не усложняйте процесс только потому, что ваша САМ-система способна сгенерировать и станок может выполнить сложное движение.

Итак:

- Минимизируйте перемещения рабочих органов станка – ориентацией детали и позиционированием в наиболее удобном месте.
- При черновой обработке, по возможности, используйте тормоз осей: обработка 3+2 позволяет повернуть, зафиксировать и обрабатывать заготовку в жестком, устойчивом положении.
- Знайте свой станок, регулярно его обслуживайте и калибруйте.
- Знайте свой инструмент и приспособления. Применение правильного инструмента имеет громадное значение.
- Знайте свою САМ-систему – используйте имеющийся функционал и осваивайте нововведения.
- Будьте инновационными, открытыми к новым идеям – для улучшений всегда есть место.

### Часть 5. Кто будет подготавливать УП?

Разработайте такой подход к повышению квалификации персонала, который будет побуждать сотрудников совершенствовать свои навыки в области многоосевого программирования.

Большинство производств, переходящих на многоосевое оборудование, уже имеет специалистов

с опытом работы в трех осях, которые могут разобрататься со сложностями многоосевого программирования за несколько месяцев. Чем больше опыта они набирают, тем более продуктивной становится многоосевая система, поскольку улучшаются такие показатели, как время наладки, продолжительность машинного цикла, эффективность программирования и использования станка.

Поскольку коэффициент возврата инвестиций в многоосевое производство высок, возникает желание переключать на него всё больше и больше работ, что делает необходимым строгий их отбор (опираясь на такие критерии, как требуемая точность, производительность других участков, сроки поставки). Критерий для приобретения следующего станка (возможно, совершенно другого размера и типа) цех должен установить еще до того, как очередь к первому многоосевому станку превысит разумные пределы.

Хорошей новостью здесь является то, что квалификация специалиста, который программирует обработку на первом станке, скорее всего, окажется достаточной и для того, чтобы делать это еще и на втором. Процесс будет таким же, а если у него не хватит времени, то можно привлечь к работе кого-то еще – в идеальном случае у того человека будет достаточный опыт в 3-осевой обработке и желание изучить искусство многоосевого программирования. Обычно так и происходит в лучших цехах, которые идут по этому пути. Сотрудники учатся друг у друга и объединяются в команду, ответственную за программирование в рамках всего участка многоосевой обработки.

Однако в этой точке стоит предупреждающий знак. Те, кто очень хорошо изучили свои станки и освоили создание траекторий, могут заостенеть в своих навыках и убеждениях. В то же время вендоры *CAD/CAM*-систем – например, *Mastercam* – постоянно разрабатывают новые виды траекторий и добавляют другую функциональность, которая обеспечивает повышение эффективности. Поэтому те производства, которые продолжают работать по старому (даже если они имеют хорошее оборудование), отстанут от конкурентов, которые нашли способы лучше использовать свои многоосевые возможности.

Все свои инструменты надо держать острыми, включая и ум. Будьте готовы хотя бы оценить преимущества усовершенствований в новейших релизах своей *CAD/CAM*-системы.

## Часть 6. Резюме

У самых первых станков с ЧПУ не было памяти. Поэтому очень квалифицированные станочники говорили, что они на своих станках с ручным управлением могут делать вещи быстрее. Сегодня компания, не имеющая оборудования с ЧПУ, на рынке конкурировать не может. Более того, сейчас мы подошли к точке, когда будет невозможно оставаться конкурентоспособными, не используя каких-то многоосевых возможностей.

Возникающую тенденцию преобладания многоосевой обработки можно рассматривать и как проблему, и как возможность. Единственный выигрышный курс – рассматривать это как благоприятную возможность и настраиваться на многоосевое мышление. Это подразумевает следующее:

### ✓ Понимание преимуществ многоосевой обработки

К числу очевидных преимуществ относятся: устранение необходимости переустанавливать заготовку, повышение точности обработанных деталей, сокращение продолжительности машинных циклов, более эффективное использование труда персонала, открытые двери для новых возможностей роста бизнеса.

### ✓ Выбор правильного оборудования

Каждый конкретный вариант конфигурации многоосевого станка с ЧПУ (голова/голова, стол/стол, голова/стол) лучше всего подходит для каких-то определенных задач. Поэтому сделайте домашнее задание – исследуйте, какое оборудование лучше подходит и для ваших нынешних работ, и для возможных в будущем. Не всегда разумно платить по высшему разряду за самые сложные системы, однако помните, что вы получаете то, за что платите.

### ✓ Другие нужные вещи

Выбор станка – важный, но не последний этап в деле достижения (или недостижения) успеха в продвижении многоосевых возможностей. Столь же важны: подходящая *CAD/CAM*-система, хороший постпроцессор, умный выбор режущего инструмента, а также обучение и повышение квалификации персонала.

### ✓ Культивирование креативности при создании УП

Ваши специалисты должны научиться программировать обработку в пространстве станка, в наиболее удобном месте, а лишь затем разрабатывать решения для крепления детали, используя симуляцию обработки для визуализации конечного результата и обеспечения безопасной работы.

### ✓ Формирование талантливой и сплоченной команды

Сделайте доступным обучение работе с многоосевым оборудованием для сотрудников, обладающих опытом работы с тремя осями, поощряйте сотрудников делиться знаниями друг с другом. Они должны овладевать усовершенствованиями, предлагаемыми в новых версиях *CAD/CAM*-системы, что поможет им стать еще более продуктивными.

Пять веков назад великий Леонардо сказал, что простота – это предел совершенства. Сегодня эти слова очень точно характеризуют ситуацию при внедрении многоосевой обработки – особенно для маленького цеха, который ищет возможности для повышения конкурентоспособности. 🧐