

Mastercam отвечает на вызовы в авиакосмическом производстве

Как современные CAD/CAM-системы помогают добиться успеха
во всё более конкурентной сфере изготовления авиационных деталей

©2020 CNC Software, Inc.

В этом материале отправной точкой для рекомендаций служит функциональность CAD/CAM-пакета Mastercam, однако те же мысли будут справедливы для любого производства, использующего современное оборудование с ЧПУ, инновационный режущий инструмент и продвинутую CAM-систему.

Mastercam

для автоматизации подготовки производства (Computer-Aided Manufacturing, CAM), позволяющее управлять станками с ЧПУ. Здесь мы обсудим последние инновации в сфере CAM и то, как новые

функции CAM-систем помогают раскрыть весь потенциал оборудования, в рекордные сроки производящего такие детали, которые раньше невозможно было даже представить.

Достижения в разработке CAD/CAM-систем отвечают на вызовы, возникающие при производстве компонентов воздушных судов

Инновации в авиакосмической отрасли обретают, можно сказать, новое дыхание: идея туристических полетов в космос становится всё более реальной с появлением новых технических решений от *Blue Origin*, *SpaceX* и *Virgin Galactic*. От космических материалов и миниатюрных компонентов с жесткими допусками до самых передовых двигателей и силовых установок – предприятия авиакосмической отрасли всегда были пионерами инноваций. Однако инновационные конструкции вызывают необходимость в инновационных методах производства.

Конструкторская идея бесполезна, если её нельзя превратить в реальную деталь. С тех пор, как были построены первые ракеты, технологии механической обработки продвинулись далеко вперед, равно как и программное обеспечение

Коммерческая авиация: текущее состояние

В январе 2020 года ожидалось, что мировая отрасль коммерческой авиации с рыночной стоимостью порядка 5 триллионов долларов будет медленно, но неуклонно расти благодаря стремительному росту спроса на путешествия, усилению тенденции глобализации, увеличению валового внутреннего продукта, урбанизации, а также смягчению ограничений в сфере авиаперевозок. Однако пандемия COVID-19 и вызванная ею дезорганизация мировой экономики породили выжидательный подход, ввиду неясности в отношении полного воздействия на авиакосмическое производство, а также того, усилит ли это и без того высокую конкуренцию. Хотя объем невыполненных заказов несколько уменьшился из-за сокращения воздушного флота, еще предстоит выяснить, будут ли эти заказы выполнены в ближайшем будущем (*Deloitte Consulting, LLP "Deloitte 2020 Global Aerospace & Defense Industry Outlook"*).

В конце 2019 года поставки концерна *Airbus* оставались стабильными, равно как и спрос на его широкофюзеляжный пассажирский лайнер *A330neo*, что поддерживало производство на устойчивом уровне (*отчет Reuters от 15.01.2020 г.*). К концу 2019 года *Airbus* получил 768 новых заказов на самолеты, при этом предстояло выполнить еще 7482 заказа. Из них клиентам было передано 863 самолета (*Airbus Commercial Aircraft Orders & Deliveries 2019*). Однако компания *Boeing* понесла самые большие за всю свою историю потери, когда в 2019 году была остановлена эксплуатация *Boeing 737 MAX*. До получения распоряжения о приостановке эксплуатации компания поставила клиентам 127 таких лайнеров, что способствовало выпуску к концу года в общей сложности 380 самолетов. Тем не менее, производство оставалось стабильным, пока компания продолжала выполнять накопившиеся заказы и свои обязательства в области обороны, космоса и безопасности (по информации *Boeing*).



Хотя временный стоп для *Boeing 737 MAX* имел значительный эффект, отрасль продолжала активно производить самолеты до марта 2020 года. Согласно отчету, составленному Международной организацией гражданской авиации (ICAO), к октябрю 2019 года мировой пассажиропоток вырос на 3.4% – в основном, в Азиатско-Тихоокеанском регионе и в Европе. При этом не ожидалось, что в ближайшее время он мог бы замедлиться. Согласно прогнозам, в следующие 15 лет объем воздушного движения увеличится вдвое. *Airbus* прогнозирует потребность в 39 210 пассажирских и грузовых самолетах в течение следующих 20 лет, из которых 36% пойдут на замену авиапарка.

К тому времени, когда текущее отставание по поставкам коммерческих самолетов будет устранено, компании *Airbus* и *Boeing* уже начнут рекламировать следующее поколение узкофюзеляжных самолетов, которые поступят на вооружение примерно в 2030 году и положат начало следующему крупному циклу заказов в отрасли. На данный момент авиакосмическая промышленность борется с последствиями коронавирусного кризиса и при необходимости подстраивается под обстоятельства.

В следующие 15 лет объем воздушных перевозок увеличится вдвое.



Отраслевые вызовы: поставка комплектующих

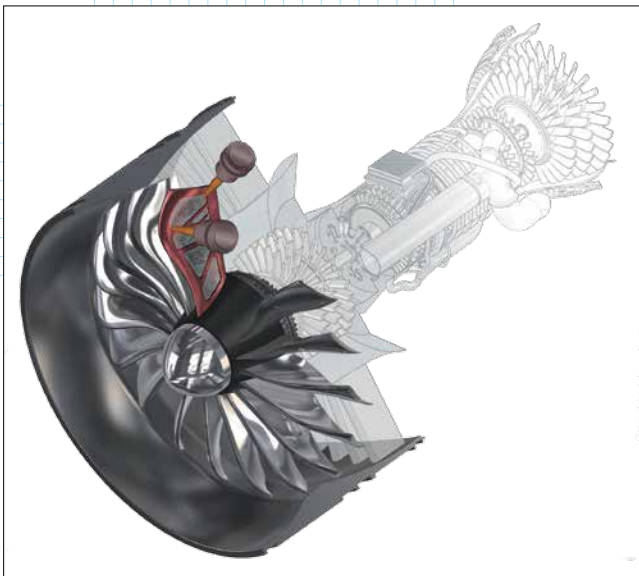
Производство компонентов для авиакосмической отрасли является, и в обозримом будущем будет оставаться, одним из самых сложных. Инновации, касающиеся конструкций деталей и процесса их разработки, резко увеличились с тех пор, как десять лет назад начался бум заказов. За этим последовало появление новых материалов и эффективных, рентабельных производственных процессов. Тем не менее, несмотря на то, что производство авиакосмических компонентов в настоящее время стало более высокотехнологичным, чем когда-либо, потребность в сокращении сроков выполнения

работ для обеспечения высоких темпов поставки по-прежнему существует. Хотя текущая статистика показывает замедление темпов роста заказов, отставание в производстве и поставке всё еще остается вполне реальным фактом.

Современный самолет в среднем содержит до 3 миллионов компонентов, причем широкофюзеляжный авиалайнер – еще больше. Авиакосмические компании должны отслеживать каждый из этих компонентов, обеспечивая соблюдение строгих требований к поставке и производству. Конечные производители (OEMs) всегда стремились найти надежных поставщиков для удовлетворения спроса на все эти детали; однако многие из [потенциальных] поставщиков работают в других, самых разных отраслях и не имеют сертификатов на производство и продажу деталей для авиакосмической отрасли. Значительная часть этих компаний сертифицирована только по *ISO 9001*. Хотя это и весомый показатель качества, для рассматриваемой отрасли он недостаточен – необходимо соответствовать стандарту *AS9100*. Обсуждается и дополнительный стандарт, касающийся информационной безопасности, которому, вероятно, также нужно будет соответствовать.

Выход на незнакомый рынок – это гораздо больше, чем просто получение необходимых документов, подтверждающих квалификацию. Даже если у потенциального поставщика есть станки, материалы и возможности для адаптации своих процессов и рабочих процедур, ему еще многое предстоит понять, чтобы сориентироваться в новой специфике и обеспечить успех. При этом сотни субподрядных предприятий успешно вышли на авиакосмический рынок, и многие из них для этого сделали серьезные инвестиции в средства производства. Не каждый станок может быть использован для производства прецизионных деталей из твердых сплавов и титана тех марок, которые требуются для “горячих” компонентов двигателя. Кроме того, чтобы понимать, как можно эффективно, рационально и с прибылью изготавливать детали двигателя и несущие элементы конструкции, необходимо методически правильное целевое техническое обучение.

В общем и целом, поставщик должен применять системный подход с оптимальным использованием станков с ЧПУ, шпинделей, крепежных приспособлений, режущего инструмента, систем охлаждения, стоек управления и программного обеспечения. Начать можно с того, что попросить совета у основных производителей авиакосмической отрасли, узнать, что они сами используют в своей производственной деятельности. Естественно, им было бы комфортно работать с субподрядными компаниями, которые делают упор на те же производственные системы и стратегии, которые они сами тщательно исследовали и опробовали в последние несколько лет. Кроме того, организации, которые предоставляют помощь и консультации в сфере соответствующих стандартов качества, таких как *AS9100*, могут быть полезными для налаживания



контактов и сотрудничества, получения рекомендаций и обмена знаниями.

Как CAD/CAM-системы могут помочь в производстве авиационных деталей

Одним из путей совершенствования производства компонентов самолетов является фокусировка внимания на таком аспекте, как применение CAD/CAM-систем. Хотя на первый взгляд это и не кажется существенным фактором успеха, однако это именно то, что, находясь за сценой, играет важную роль в изготовлении сложных деталей, характерных для авиакосмической отрасли.

Рассмотрим несколько примеров того, как программные средства CAD/CAM вносят значительный вклад в обеспечение эффективности всей производственной системы.

Тесное взаимодействие CAD- и CAM-систем

Следует учитывать, что зачастую жизненно важным аспектом первого этапа цифрового производства становится способность CAM-системы беспрепятственно работать с различными CAD-файлами. Наиболее широко инженеры авиакосмической отрасли используют для проектирования CAD-системы CATIA, NX CAD, PTC Creo (ранее – Pro/ENGINEER), SOLIDWORKS и AutoCAD. Эффективная CAM-система должна уметь импортировать данные большей части, если не всех, CAD-систем из этого перечня.

Возможность беспрепятственного импорта CAD-файлов – это гораздо больше, чем просто обеспечение надежной работы с производителями самолетов. CAM-система должна быть способна принимать CAD-данные в любом виде. Хотя большинство компонентов спроектировано с помощью функций твердотельного моделирования, в файле могут оказаться и какие-то более старые данные, созданные с помощью каркасного или поверхностного моделирования. Система также должна уметь

работать с гибридной моделью, состоящей из твердых тел и сетки. Сохранение CAD-модели в её оригинальном формате гарантирует целостность данных проекта в процессе их передачи производителю, что имеет критически важное значение для безопасной эксплуатации самолета.

CAM-системе необходимы CAD-инструменты для редактирования и подготовки моделей

Авиакосмические разработки относятся к числу наиболее контролируемых, проводимых в соответствии со строгим набором стандартов и правил. Это означает не только то, что производители должны иметь возможность принять исходный файл, предоставленный заказчиком в оригинальном формате, но также и то, что существуют серьезные ограничения на любые изменения CAD-модели. Однако бывают случаи, когда для обеспечения точной обработки требуется внести небольшие [временные] модификации, что, при отсутствии CAD-инструментов в функционале CAM-системы, может привести к длительному согласованию изменений с инженерами-конструкторами.

К счастью, в последнее десятилетие разработчики CAM-систем начали включать в них функции, позволяющие технологам-программистам в процессе работы напрямую редактировать твердотельную модель, чтобы облегчить подготовку к механической обработке. Эти инструменты проектирования обеспечивают сочетание временных и постоянных модификаций, причем в авиакосмической отрасли широко используются как раз инструменты для временных изменений. Они позволяют быстро внести в деталь специфические поправки, не влияющие на целостность конструкции и замысел проектировщика, которые затем могут быть легко отменены при необходимости. В качестве примера можно назвать быстрое заполнение отверстий для повышения точности и сохранения эстетичного вида сложных поверхностей, а также [автоматическую] идентификацию конструктивных элементов с целью их подавления для упрощения программирования обработки. В обоих случаях временные правки могут быть впоследствии отключены для завершения проекта без нарушения целостности исходной модели.

Кроме того, современные CAD/CAM-системы позволяют технологам-программистам изменять твердотельную модель по своему усмотрению методами прямого редактирования, офсетно смещать грани или кромки, создавать скругления, перемещать и копировать грани. Можно разделять твердотельную грань на несколько граней в каркасном или составном представлении, а также разбивать деталь на несколько сегментов, чтобы применить к ним разные стратегии формирования траектории инструмента, что упрощает обработку сложных деталей. Хотя производители могут и не использовать какие-то CAD-инструменты для изменения самой детали, они имеют возможность легко и с минимальными затратами создавать оснастку при

выполнении сложных проектов, проектируя приспособления и программируя их обработку в одной CAD/CAM-среде.

Продвинутые стратегии обработки для равномерного съема стружки

Стратегии обработки, основанные на радиальном утончении стружки, в последнее время существенно повлияли на то, как производятся детали для авиакосмической отрасли. Эта технология, обычно называемая постоянным и равномерным съемом стружки (*Constant Chip Loading*), позволяет эффективно работать всей длиной режущей части инструмента, увеличивает срок его службы и дает возможность быстрее и проще резать твердые материалы (такие, как инконель, медь, титан), часто используемые в таких деталях. Поскольку конструкции и спецификации в авиакосмической отрасли становятся всё более сложными и точными, функционал CAM-систем должен держаться на уровне этих вызовов.

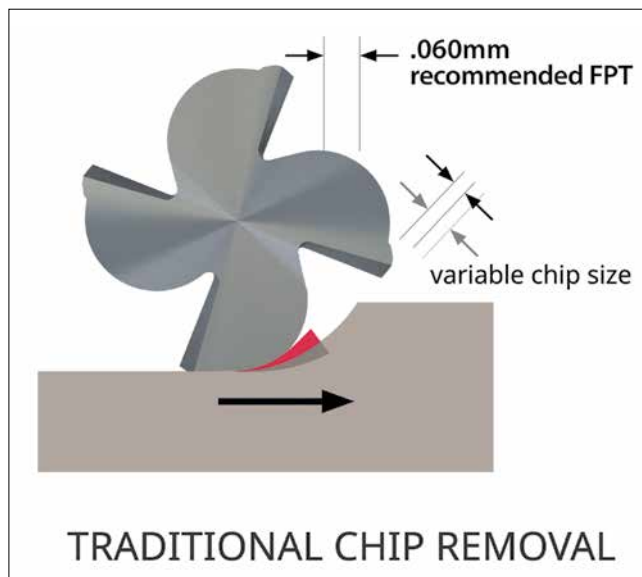
Проприетарные алгоритмы, заложенные в CAM-систему, позволяют непрерывно оценивать ситуацию в отношении действующей на инструмент нагрузки и корректировать его движение так, чтобы погружение в материал оставалось как можно более постоянным на протяжении всей траектории. В отличие от традиционных траекторий с постоянным смещением, которые по существу повторяют форму детали при движении инструмента, данный алгоритм работает не только по границам модели. Вместо этого он использует информацию и о границах, и о том, что было срезано, а что осталось, чтобы обеспечить максимально эффективное и безопасное движение, оценивая условия резания и подстраиваясь соответствующим образом.

В оптимальном случае инструмент соприкасается с материалом по всей своей длине режущей части, что сводит к минимуму количество шагов между проходами (*Stepovers*), шагов по глубине (*Stepdowns*) и перемещений по воздуху, уменьшает нагрузку на инструмент, деталь и станок при увеличении подачи и скорости.

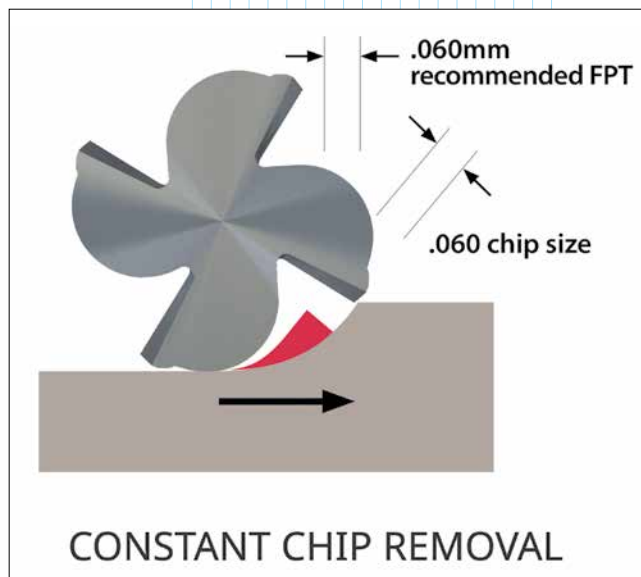
Тонкостенные детали с жесткими допусками (например, те, из которых формируются сотовые конструкции в стенах корпуса самолета) легко изготавливать, если использовать все возможности 5-осевого обрабатывающего центра и правильные инструменты. Углы наклона инструментов должны быть учтены в траектории, чтобы обеспечить точную обработку острых краев, которые определяют форму сотовых деталей, и позволить станку автоматически менять инструменты – вместо того чтобы останавливать станок для замены инструмента вручную, что может негативно влиять на равномерность и качество обработки.

Важно отметить, что этот метод, помимо прочего, значительно помогает в регулировании температуры. Тепло является врагом детали, инструмента и даже всего станка. Неконтролируемый нагрев при резке может деформировать детали (что приводит к выходу размеров за пределы допуска), а также повредить компоненты станка. Когда CAM-система обеспечивает постоянный равномерный съём металла, соответствующий оптимальным условиям резания, тепло безопасно отводится вместе со стружкой.

По мере того, как в цехах всё более уверенно стали применять высокоскоростные траектории обработки, началось изучение более агрессивных стратегий резания. К их числу относится уменьшение диаметра инструмента в три или даже четыре



Традиционное фрезерование дает неравномерную стружку, поскольку инструмент следует контуру детали с постоянным офсетным смещением



Заглядывая вперед и изменяя движение фрезы в зависимости от находящегося перед ней материала, CAM-система может обеспечить постоянство толщины снимаемой стружки по всей траектории

раза. Во многих случаях это вполне достижимо. Однако обработка внутренних углов может оказаться проблематичной, поскольку фреза может “затянуть” металл, и стенка может погнуться. Это происходит потому, что, когда инструмент перемещается по относительно небольшим внутренним дугам, его внешняя часть движется через материал быстрее, чем центр. Когда же фреза движется по внешним дугам, её внешняя часть идет через материал медленнее, чем центр, что приводит к снижению давления стружки на инструмент. Некоторые CAD/CAM-пакеты предлагают опцию выбора значения для уменьшения максимального внутреннего диаметра или увеличения максимального внешнего диаметра дуги и могут подстраивать скорость подачи для внутренних дуг и увеличивать её для внешних дуг, используя для расчета правильной скорости подачи размер фрезы и радиус дуги, по которой инструмент движется в данный момент.

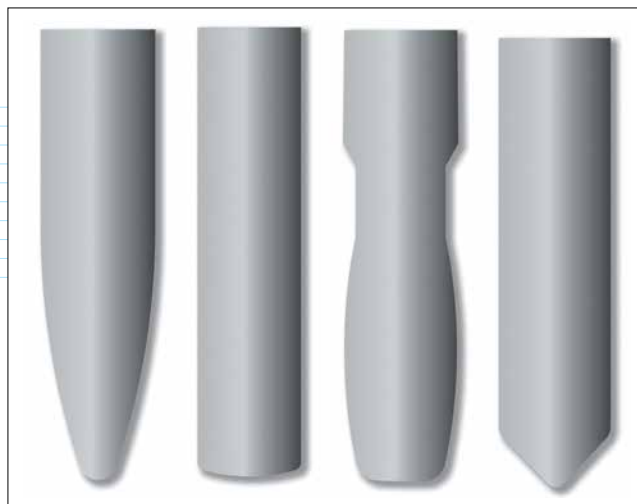
Взаимовлияние режущего инструмента и ПО

С некоторых пор производители режущего инструмента и поставщики САМ-систем стали совместно работать над тем, чтобы радикально сократить продолжительность цикла при черновой обработке твердосплавными инструментами. Пластины, используемые для черновой обработки, должны иметь более прочную кромку и более жесткое покрытие, чем те, что предназначены для чистовой. Кроме того, они должны быть более жесткими. Для изготовления деталей с труднодоступными карманами и углами оптимальными являются пластины меньшего размера или длинные тонкие инструменты. При таком большом количестве доступных инструментов выбор наиболее подходящих становится непростой задачей.

Сотрудничество производителей режущего инструмента и САМ-вендоров привело к созданию библиотек инструментов или облачной среды *Machining Cloud* (www.MachiningCloud.com), в которой представлены сотни режущих инструментов от множества поставщиков, а также рекомендуемые значения подачи и скорости, актуальные геометрические данные и другая информация, относящаяся к конкретному инструменту. Технологи-программисты могут просматривать 3D-модели инструментов, создавать “на лету” сборки цифровых инструментов и упаковывать всё в единый файл из одного источника.

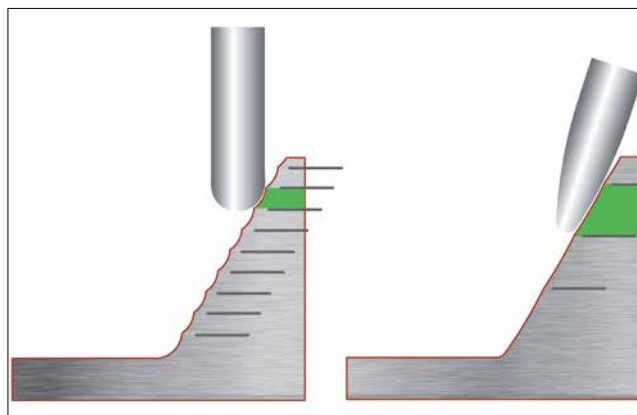
Фасонные инструменты для высокоточной резки, превосходной чистовой обработки и быстрого выполнения заказа

Чаще всего для авиакосмической отрасли необходимо получить гладкие, точные поверхности, что в большинстве случаев требует каких-то дополнительных операций – финишной обработки или полировки – для достижения желаемого результата. Вызов здесь, особенно если процесс финишной обработки передается на аутсорсинг, заключается в



точном соблюдении исходных спецификаций при выполнении дополнительной работы с деталями. Это особенно верно в случае, когда речь идет о частях реактивного двигателя или трансмиссии, которые имеют очень жесткие допуски и при этом должны идеально подходить друг к другу.

Разумным подходом является формирование таких управляющих программ, которые позволяют выполнять как черновую и получистовую, так и финишную обработку без необходимости снимать деталь со станка, а потом делать установ заново. Когда речь идет о компонентах турбины, а особенно о блисках (*Bladed Disk* – турбина, лопатки которой составляют единое целое с диском ротора), обработка должна вестись в полном соответствии с документацией. Это может оказаться непростым делом, если детали изготовлены из жаропрочных суперсплавов, передающих тепло режущему инструменту. Композиты, которые часто создаются путем послойного соединения различных материалов, включая металлы, и демонстрируют специфические свойства в отношении механических



При правильном использовании сегментные инструменты (справа) обеспечивают чистоту и скорость обработки, сопоставимые с тем, что достигается с помощью гораздо более крупной концевой сферической фрезы (слева)

нагрузок, плавления и деформации во время высокоскоростной обработки, также представляют собой проблему. Выбор правильного сочетания инструмента и траектории для каждой отдельной операции резания имеет первостепенное значение для сокращения процента брака и увеличения срока службы фрез.

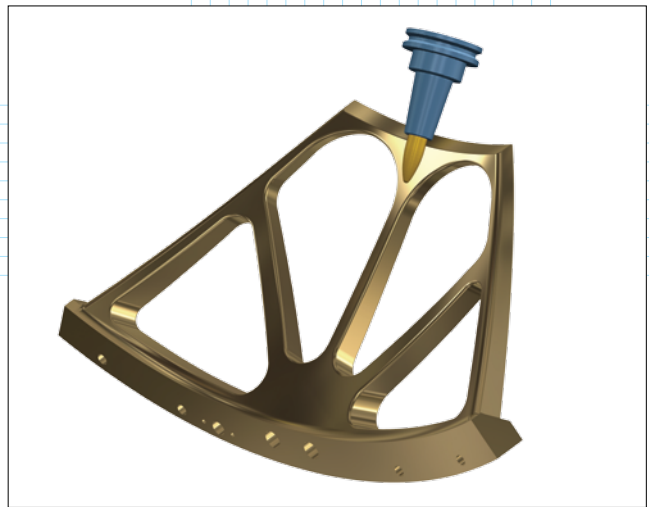
В последнее время сотрудничество разработчиков САМ-систем и поставщиков режущего инструмента расширилось и охватило этап финишных проходов, когда возможности автоматизированного формирования инновационных траекторий влекут за собой создание инновационных режущих инструментов – и наоборот. Одним из таких примеров является программная поддержка новых сегментных фрез, хорошо подходящих для чистовых операций. Во многих случаях это может значительно сократить продолжительность цикла чистовой обработки по сравнению с использованием более традиционных концевых сферических фрез. Там, где могут применяться эти инструменты и соответствующие траектории, сокращение времени цикла в пределах от 50% до 80% и даже больше стало нормой – при сохранении превосходного качества поверхности.

Чтобы эта продвинутая чистовая стратегия достигла совершенства, необходима согласованность фрезы и функционала САМ-системы, особенно в случае обработки 3+2 или одновременной обработки по пяти осям. Сегментные фрезы могут использоваться как в 3-, так и в 5-осевых траекториях чистовой обработки, с которыми пользователи уже знакомы.

Применение сегментных фрез значительно сокращает продолжительность финишной обработки.

Технологу-программисту требуется только загрузить в САМ-систему описание такого инструмента из библиотеки. В процессе обработки будет автоматически применяться соответствующая компенсация инструмента для обеспечения сверхвысокой эффективности. Опытные в деле многоосевой обработки технологи-программисты могут точно настроить параметры, чтобы сделать хорошую траекторию чистовой обработки еще более эффективной при наличии особых требований к чистоте обработки поверхности.

Сферические концевые фрезы традиционно считаются наиболее подходящим инструментом для финишной обработки поверхностей, поскольку они способны эффективно уменьшить высоту гребешков за счет уменьшения бокового сдвига фрезы между проходами. Однако это преимущество может стать ограничением на больших или требующих точной подгонки поверхностях. Представьте себе части крыла, дверные рамы и детали для гигантских самолетов. Чтобы компенсировать этот потенциальный ступенчатый эффект и достичь желаемой чистоты поверхности, необходимо использовать пропорционально небольшой шаг между



проходами или шаг вниз (обычно 3÷5% диаметра инструмента). Это улучшает качество поверхности, но уменьшает площадь соприкосновения фрезы с деталью. Таким образом, инструмент должен сделать больше проходов, чтобы добиться желаемого качества финишной обработки, на что уходит много времени.

Сегментные фрезы разработаны таким образом, чтобы инструмент малого диаметра имел большой эффективный радиус резания – во много раз превышающий допустимый для сферической концевой фрезы. Такая конструкция позволяет уменьшить число чистовых проходов и высоту гребешков на материале, что существенно улучшает качество поверхности при одновременном сокращении продолжительности цикла. Эти инструменты можно задействовать и на 3-осевых станках с ЧПУ, но следует проявлять большую осторожность при определении плоскостей инструмента, чтобы гарантировать высокую точность чистовой обработки и правильные условия контакта фрезы с деталью.

Гораздо лучшие машинные циклы получаются в случае многоосевого оборудования. Даже для станка с поворотным столом (3+2) возможность применения таких фрез значительно расширяется, а переход к станку, способному осуществлять непрерывную 5-осевую обработку, расширяет их еще больше. Преимущества предоставляют и продвинутые быстродействующие стойки ЧПУ, способные анализировать УП, заглядывая вперед, и учитывать будущие условия резания.

Специализированные возможности CAD/САМ-систем для сложных деталей

Интуитивно понятная резка при изготовлении лопаток для авиакосмической отрасли

Трудности с изготовлением лопаток импеллеров, вентиляторов и турбин могут существенно увеличить время обработки, поскольку требуется множество операций резания и отдельные траектории для различных конфигураций. При работе с



деталью, имеющими множество лопаток, процесс становится еще сложнее и требует еще больших затрат времени. Обычно производители использовали программирование 3+2, когда деталь поворачивается на заданный угол, а 3-осевая траектория удаляет как можно больше материала, доступного при данной ориентации. Затем деталь принимает новое положение, и удаление материала продолжается.

Подготовка таких управляющих программ требует значительных затрат времени, равно как и их выполнение, из-за большого числа перекрытий зон обработки лопаток, в которых фреза буквально ничего не делает, а просто “режет воздух”.

Специализированные программные модули САМ-систем позволяют оптимизировать многоступенчатый многоосевой процесс чистовой обработки неограниченного количества конфигураций лопаток.

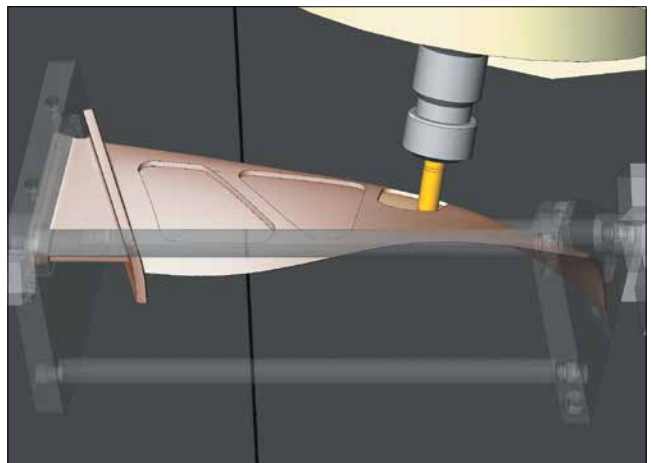
Независимо от различий в форме и размерах, все многолопаточные детали изготавливаются практически одинаково: черновое удаление материала между лопатками, полуступенчатая обработка лопаток, чистовая обработка лопаток и ступицы. Имеются дополнительные модули (*Add-On*) для САМ-пакетов, специально разработанные для упрощения многоэтапного процесса программирования многоосевой обработки, что дает технологу-программисту удобную возможность посекционно создавать траектории для удаления материала

между лопатками. После того как он открыл САД-модель лопатки, ему предлагается информация о предпочтительных особенностях процесса 5-осевой обработки. Благодаря использованию стандартного интерфейса и многоосевых траекторий инструмента, эти дополнительные модули могут обеспечить изготовление неограниченного количества видов лопаток или сплиттеров любых конфигураций.

Симуляция обработки для проверки УП

Все разработчики САМ-систем включили в комплектацию средства симуляции обработки. Теперь всё – от проверки пригодности траектории инструмента до проектирования и изготовления приспособлений – может быть выполнено виртуально еще до включения станка. Однако наиболее важной является возможность имитировать на экране операции высокоскоростной обработки – чтобы гарантировать, что детали будут изготовлены в соответствии с заданными параметрами, без блужданий инструмента и без столкновений. Некоторые из наиболее продвинутых САМ-систем позволяют верифицировать процесс резания с жесткими допусками (до 0.001 дюйма), что упрощается за счет возможности указать точное описание инструмента из библиотеки инструментов или из облака *Machining Cloud*. Многим производителям визуализация процесса симуляции необходима перед утверждением деталей, чтобы убедиться, что они соответствуют стандартам *ISO 9000* для применения в авиакосмической отрасли и будут изготовлены в соответствии со спецификациями.

В выполнении заказов для авиакосмической отрасли имеется множество специфических трудностей, так как здесь широко применяются труднообрабатываемые материалы, зачастую весьма дорогие и имеющие высокие показатели твердости по Роквеллу. Когда инструмент начинает резать обычно используемые в этой отрасли сплавы на основе никеля (такие, как *Inconel 718* и *Waspalloy*), высокий предел прочности на срез может стать проблемой – к примеру, вызвать растрескивание тонкого материала или поломку инструмента. При обработке тонкостенных деталей, таких как компоненты



планера, соблюдение размерных допусков становится всё более трудным делом по мере того, как инструмент погружается в материал. Предотвращение столкновений, дребезга и вибрации имеет первостепенное значение.

Средства симуляции, имеющиеся в арсенале современной САМ-системы, позволяют продемонстрировать потенциальный успех всей операции обработки, что весьма важно для заключения выгодных контрактов в авиакосмической отрасли.

Соображения по оптимизации производственных операций в авиакосмической отрасли

Поставщики, работающие с *OEM*-производителями в авиакосмической отрасли, сталкиваются с необходимостью быстро выполнять заказы на изготовление компонентов всё более сложной формы из материалов космической эры, причем с жесткими допусками. Для тех из них, которые сумели заключить – и сохранить – прибыльные контракты в авиакосмической отрасли, характерно желание инвестировать, адаптироваться и учиться. И хотя их стратегии просты, многие другие не стараются им следовать, отказываются от сложной работы или вообще не конкурируют за подобные заказы.

Ниже предлагаются несколько советов для тех поставщиков, которые имеют намерение инвестировать деньги и время в то, что позволит им войти в авиакосмическую отрасль.



1 Инвестируйте в самые производительные обрабатывающие центры с 3–5 осями и токарные станки с активным инструментом, чтобы добиться максимальной эффективности операций резания.



2 Выберите мощный САД/САМ-пакет, чтобы использовать свои обрабатывающие центры максимально эффективно. Инвестируйте в создание хотя бы нескольких рабочих мест технологов-программистов, чтобы работа не останавливалась. Ваша система должна:

- Обеспечивать возможность работы с файлами всех САД-систем, особенно *CATIA* и *NX*, чтобы беспрепятственно получать геометрию детали с точными параметрами, указанными заказчиком из авиакосмической отрасли.
- Позволять технологу-программисту сохранить целостность САД-модели, предоставляя при этом САД-инструменты для редактирования геометрии, ускоряющие подготовку модели к обработке.

- Предоставлять технологу-программисту возможность формировать траектории инструмента в широком диапазоне – от простых базовых до высокоскоростных, максимально задействующих потенциал станка.
- Хранить в библиотеке инструменты, созданные технологом-программистом, и иметь доступ к облачной библиотеке, чтобы он мог искать подходящие инструменты для сложных работ и вставлять их в операцию виртуальной обработки для наиболее точной её симуляции.
- Позволять симулировать всю операцию обработки, точно воспроизводя инструмент, оснастку, материалы и прочее на экране компьютера.
- Обеспечивать постоянный, равномерный съем стружки и точную обработку с жесткими допусками.
- Быть гибкой в отношении использования различных фрез для финишных операций, чтобы экономить станочное время.
- Работать с дополнительными специализированными модулями (*Add-Ons*), которые помогают ускорить и повысить точность обработки сложных деталей – таких, как лопатки турбин.



3 Осваивайте новые производственные технологии, обновляйте парк станков и программное обеспечение по мере необходимости, чтобы всегда использовать последние достижения в сфере материалов и режущего инструмента.



4 Обучайте работников лучшим из доступных технологий обработки и дайте им возможность учиться самостоятельно.

- Воспользуйтесь образовательными инициативами, предлагаемыми вендорами программного обеспечения в виде тщательно разработанной учебной программы, которую можно скачать с веб-сайта разработчика или местного реселлера.
- Приобретайте САД/САМ-пакеты у таких разработчиков, которые прислушиваются к потребностям клиентов и обновляют функционал с их учетом.
- Работайте с местными реселлерами программного обеспечения, которые могут помочь найти решения для сложных работ – на площадке клиента или удаленно, – основываясь на своих знаниях и опыте работы. 🧐