

Mastercam в производстве миниатюрных изделий

Адаптация “под лупой” САМ-стратегий для микрообработки

David Conigliaro

Dave.Conigliaro@mastercam.com

David Conigliaro – менеджер по продукту Mastercam Mill компании CNC Software Inc., дислоцирующейся в гор. Tolland (штат Коннектикут, США, www.mastercam.com). Оригинал статьи опубликован в американском журнале MICROmanufacturing.

Поначалу Alistair Purdon был совершенно растерян, несмотря на то, что уже имел за плечами 20-летний опыт работы в сфере традиционного производства на станках с ЧПУ, а также обширные знания о скоростях и параметрах перемещения инструмента во время резания. Он был уверен, что обладает высочайшей квалификацией. Но в этом случае всё оказалось не совсем так, как он думал...

Дело в том, что Alistair Purdon только что приступил к работе в небольшой компании Micro Precision Parts Manufacturing (MPPM) в городе Qualicum Beach (остров Ванкувер, провинция Британская Колумбия, Канада, www.precisionmicromachining.com), которая специализируется на производстве миниатюрных изделий (micromanufacturing). От него требовалось приложить здесь свои знания и умения в области обработки на станках с ЧПУ. Президент компании, Steve Cotton, собирался начать деятельность по сертифицированному ремонту и восстановлению часов Rolex. Однако сначала Alistair Purdon должен был опробовать в новых условиях известные ему технологические приемы с целью получения хорошего результата в производстве микроизделий.

“Здесь я столкнулся с необходимостью существенно изменить все параметры, и это несколько сбilo меня с толку”, – отмечает Alistair Purdon. – “Я думал, что легко смогу использовать те знания и технические приемы, которые нарабатал в процессе применения станков с ЧПУ при производстве деталей средних размеров. Мне казалось, что, пропорционально изменив величины параметров резания, я смогу применить их для изготовления по-настоящему мелких деталей. Это не сработало. Мне потребовалось несколько месяцев, чтобы привыкнуть к различиям”.

Поговорим о некоторых часто встречающихся при механической обработке миниатюрных деталей (micromachining) проблемах, которые могут заставить растеряться даже таких опытных мастеров, как Alistair Purdon, а также о некоторых САМ-средствах, которые могут помочь в этом деле.

Нелинейность масштабирования

Как обнаружил Alistair Purdon, больше всего сбивает с толку при погружении в мир механической микрообработки невозможность линейно изменять параметры обработки (linear process) при изменении обрабатываемого материала, геометрии и размеров деталей. Нельзя так просто экстраполировать скорость вращения шпинделя, подачу инструмента, шаг и глубину резания, исходя из вашего опыта обработки деталей среднего размера. Такой способ срабатывает редко.

Иногда лучшим может оказаться подход, прямо противоположный тому, на который вы рассчитываете. Например, многие станочники используют метод попутного фрезерования (climb milling), чтобы добиться отличной чистоты поверхности при финишной обработке изделий (finer finish). Однако при микрообработке такой метод приводит к большему, чем это необходимо, съему материала. И только применив метод встречного фрезерования, удается получить хороший результат.

К изготовителям микродеталей часто обращаются с просьбой обработать различные материалы с необычными свойствами, включая неметаллы. В списке того, что недавно обрабатывал Steve Cotton, можно найти: пертитан, термопласт Radel, сплав D-2, а также уникальные материалы, состав которых (blend – дословно смесь) заказчики

сообщать отказываются, поскольку эти рецепты являются их собственностью.

“Они не хотят рисковать и потерять конкурентное преимущество, связанное с применением материалов с необычными свойствами. Поэтому они поставляют мне материал и дают только общее описание его свойств при механической обработке (cutting properties)”, – отметил Steve Cotton. – “К примеру, они могут мне сказать, что материал обрабатывается как титан. Но зачастую свойства материала при обработке оказываются иными”.

Обработка (cutting) твердых материалов с помощью алмазных резцов с размерами 0.5 мм × 20 мм, которые вращаются со скоростью 150 000 оборотов в минуту, может оказаться проблемой для владельца мастерской, который решил заняться микрообработкой. Если не проявлять осторожность при выборе



Steve Cotton, президент компании MPPM, работает с миниатюрными деталями (фото публикуется с разрешения компании CNC Software)

параметров резания, инструмент ломается. Убытки при поломке алмазного режущего инструмента размером со швейную иглу составляют порядка \$600 без учета стоимости поврежденной детали. Еще хуже, что оператор станка в течение длительного времени может и не подозревать о том, что резец сломан, поскольку звук, возникающий во время обработки при контакте резца с миниатюрной деталью, не слышен на фоне шума от вращающегося шпинделя.



Детали для медицинских инструментов (medical part) настолько малы, что на одноцентовой монете их можно уместить с полсотни. ИТ-среда компании MPPM обеспечивает комплексное решение, сочетающее расчет траектории инструмента (toolpath) и закрепления заготовок (workholding), что позволяет изготавливать одновременно по 20 таких деталей (фото публикуется с разрешения компании CNC Software)

Большой проблемой может оказаться и преждевременный износ инструмента (*tool wear*). Так, *Steve Cotton* столкнулся с ней при изготовлении деталей для медицинских инструментов из термопласта *Radel*. Выбор этого материала обусловлен необходимостью последующей стерилизации деталей при высокой температуре. Однако *Steve Cotton* не знал, что *Radel* является керамическим материалом с ярко выраженными абразивными свойствами. В результате резцы изнашивались прежде, чем удавалось изготовить хотя бы горстку деталей.

Необходимость закрепления (*workholding*) деталей при их обработке всегда является проблемой, однако она становится еще более сложной при работе с деталями, которые настолько малы, что на одноцентовой монетке можно разместить штук 50 таких деталей. Даже закрепление в зажимном приспособлении (*fixture*) с последующей выемкой детали вручную требует значительных трудов. Если же вы уроните такое изделие, то найти его уже вряд ли сможете...

При жестких требованиях к точности изготовления, ошибки наложения допусков (*stacking error*), которые несущественны для изделий обычных размеров, в мире микродеталей вырастают в большую проблему. Поэтому, чтобы гарантировать результат в пределах заданных допусков на размеры, при работе в САМ-системе необходимо учитывать и наложение допусков (*tolerance stack*).

Требования к САМ-системе

Помимо возможности применения всех видов механической обработки, для организации надежного и эффективного процесса изготовления миниатюрных деталей необходим также высококвалифицированный программист оборудования с ЧПУ. Для работы ему понадобится высококачественная САМ-система, которая предоставляет набор средств, позволяющих за короткое время и без ошибок рассчитать траекторию инструмента для микрообработки. Кроме того, в САМ-системе должны быть средства, которые дают возможность достаточно удобно зафиксировать с таким трудом полученный опыт, а затем без искажений перенести его на последующие схожие проекты.

К наиболее важным для механической обработки миниатюрных деталей САМ-средствам можно отнести следующие:

✓ Интегрированные возможности проектирования крепления деталей

Предлагаемый в рамках САМ-системы САД-инструментарий должен давать программисту возможность спроектировать механизм фиксации, расположенный вокруг детали, и тиражировать это решение для всего зажимного механизма, рассчитанного на несколько деталей. Это особенно важно для миниатюрных деталей, которые изготавливаются десятками, а закрепляются в одном зажимном механизме. Закрепление деталей должно обеспечивать доступ инструмента в зону обработки, возможность переворота деталей (*flipping*), а также съем готовых деталей (*removing*) таким образом, чтобы не потерять и не повредить их.

✓ Компьютерное моделирование обработки (симуляция)

Когда программист подготовил траектории обработки, он должен иметь возможность соответствующим образом просмотреть процесс изготовления детали с помощью верификатора, который должен входить в состав САМ-системы. На экране монитора он сможет проследить, как снимается материал с заготовки (*stock removal*), оценить зазоры между инструментом и деталью, а также элементами крепления заготовки на рабочем столе станка. Кроме того, он сможет понаблюдать за движением инструмента в процессе обработки резанием (*cutting sequence*) и проверить весь цикл механической обработки детали (*machining cycle*). Такие возможности проверки особенно важны для цехов и мастерских, которые выполняют много заказов по изготовлению большой номенклатуры изделий. Когда акцент делается на быстроту и эффективность цикла обработки (*turnaround*), то нельзя позволить себе роскошь отлаживать процесс обработки непосредственно на стойке управления станком с ЧПУ.

✓ Очень короткие траектории инструмента

Пожалуй, одним из самых активно развиваемых поставщиками САМ-систем инновационных направлений является разработка новых траекторий инструмента (*toolpaths*), которые обеспечивают дополнительные возможности в специфических ситуациях, возникающих при изготовлении деталей. Несмотря на то, что большинство САМ-вендоров предлагает похожие по описанию траектории, тем не менее, возможности пользователя управлять



Эта титановая клипса для аневризмы была изготовлена на 4-осевом фрезерном станке компании Haas с помощью траекторий, рассчитанных в системе Mastercam с целью минимизации последующих финишных операций, выполняемых вручную. Для деталей сложной формы применение траекторий, обеспечивающих заданную шероховатость, позволяет получить плавные перемещения инструмента с равномерным съемом материала. Алгоритм определяет шаг перемещения по поверхности исходя из её кривизны, допуски поддерживаются в пределах 20 мкм (фото публикуется с разрешения компании CNC Software)

движением инструмента в пределах траектории могут иметь существенные различия. Например, некоторые САМ-системы предлагают несколько способов управления перемещением инструмента (*step-over*): движение по прямой (*straight*), плавное движение (*smooth*), отвод инструмента (*retract*), движение инструмента под заданным пользователем углом, движение по дугам окружностей или по их хордам с заданной точностью. Наличие множества дополнительных возможностей и параметров обеспечивает дополнительную гибкость, что дает возможность справляться с непредвиденными проблемами, связанными со сложной геометрией и материалами, которые часто встречаются при обработке миниатюрных деталей.

✓ Траектории высокоскоростной обработки (HSM)

Траектории инструмента, разработанные специально (но не только) для высокоскоростной обработки, идеально подходят для изготовления миниатюрных деталей, поскольку подводы инструмента к обрабатываемой детали (*in of the cut*) в начале, а также в процессе обработки и последующие его отводы (*out of the cut*) от неё выполняются по плавной дуге. Это позволяет минимизировать износ инструмента, а также получить максимальный эффект от использования современного высокоскоростного оборудования. Некоторые участки детали могут иметь сложную форму, поэтому не всегда удается избежать съема непредсказуемо большого количества материала (*heavy cut*). Возможно также, что глубина проникновения инструмента оказывается слишком большой, или же при обработке некоторых зон будет наблюдаться повышенный износ инструмента. На этот случай в развитых САМ-системах имеются функции, которые предоставляют пользователям возможности дополнительной тонкой настройки и позволяют вносить в управляющую программу изменения, цель которых – предохранение инструмента от поломки или от чрезмерной нагрузки, которая ведёт к повышенному износу.

✓ Черновая обработка (*roughing*)

Траектории с совершенно плавными и равномерными движениями инструмента (*ultrasmooth toolpath*) особенно важны для фазы черновой обработки, когда снимается большое количество материала. Часто проблемы возникают именно на фазе черновой обработки, что приводит к случайной

поломке или чрезмерному износу (*burying*) инструмента. Поэтому возможности управления параметрами при создании траекторий, предлагаемые в САМ-системе, должны быть достаточно гибкими, чтобы обеспечить надежные и безопасные варианты черновой обработки. Отметим черновое фрезерование с использованием трохоидальной (*trochoidal*) траектории: эта функция разработана специально для продления срока службы инструмента. Вместо того чтобы сразу начинать съём большого количества материала, можно задать режим “откусывания” (*“nibble”*), величина шага которого не превышает некоторой предварительно заданной величины (например, 10% от диаметра инструмента). Чтобы не допустить повреждения инструмента, его можно перемещать в зоне обработки с таким расчетом, чтобы он снимал материал, описывая очень маленькие петли (трохоидальный шаг – *trochoidal move*), с учетом указанного выше ограничения.

✓ Тонкая финишная обработка (*fine finishing*)

Траектории с плавными перемещениями инструмента (*smooth toolpath*) являются столь же важными и для фазы чистовой обработки, поскольку это позволяет избежать или, по меньшей мере, сократить утомительные и дорогостоящие финишные операции, выполняемые вручную под ювелирной лупой. Для эффективной финишной обработки в процессе изготовления миниатюрных деталей служат винтовые (*spiral*) траектории или же траектории с заданной шероховатостью поверхности (*scallop*), а также траектории, построенные с применением собственных алгоритмов сопряжения (*blending algorithm*). Кроме того, в ход идут траектории, построенные с использованием фильтрации в управляющих программах, написанных в G-коде, с целью оптимизации плотности точек, которые воспринимаются стойкой ЧПУ. Такая фильтрация точек позволяет избежать резких торможений или разгонов при отработке контроллером станка заданных перемещений инструмента.

Дополнительные возможности САМ-систем

Развитые САМ-системы предоставляют дополнительные возможности, позволяющие пользователям добиться успеха при изготовлении миниатюрных деталей:

✓ Библиотеки

САМ-система, используемая в процессе механической обработки миниатюрных деталей, требует наличия надежной базы данных, которая включает информацию о траекториях (*toolpath*), материалах, инструментах и приспособлениях для фиксации инструментов в шпинделе станка (*workholder*). Это дает возможность пользователю быстро применять успешные стратегии обработки (*manufacturing strategy*), наработанные в процессе выполнения предыдущих заказов. Собственная база знаний позволяет расширить возможности производства и увеличить доход. (Поэтому стоит позаботиться о создании резервных копий.)

✓ Специальный функционал

Как только вендоры САМ-систем разобрались в потребностях пользователей, занимающихся микрообработкой, они довольно быстро смогли предложить специализированный функционал, в том числе:

- возможность автоматического обнаружения столкновений инструмента с заготовкой и последующей быстрой коррекцией траекторий;
- возможности введения коэффициента компенсации износа инструмента и коэффициента термокомпенсации (*thermal compensation*);
- дополнительные опции при создании траекторий, задающие параметры отвода инструмента для проверки его состояния.

✓ Техническая поддержка

Изготовители миниатюрных деталей довольно часто идут нехоженными тропами (*uncharted water*), поэтому производители станков с ЧПУ, инструментов, принадлежностей, САД- и САМ-систем должны, насколько это возможно, оказывать им поддержку.

Чтобы формализовать отношения с вендором и получить возможности консультироваться, *Steve Cotton* приобрел лицензию на сопровождение (*maintenance license*) своей САМ-системы. Когда он сталкивается с неожиданной проблемой, дилер САМ-системы пользуется возможностью удаленного доступа и подключения к программной среде, имеющейся в цеху, и они вместе находят решение, работая на одном экране компьютера. В процессе изготовления пробных деталей *Steve Cotton* пользовался таким сервисом регулярно.

Развитие САМ-систем

Как и само производство миниатюрных деталей, САМ-системы тоже постоянно развиваются. У вендоров в стадии реализации находятся многие интересные проекты, которые направлены на изучение встающих перед производителями проблем и выработку более качественных решений. Установление партнерских отношений и развитие взаимодействия с вендорами САМ-систем позволит им не только ответить на вопросы, стоящие перед производителями миниатюрных деталей сегодня, но и разработать более эффективный функционал для поддержки их в будущем. 🧰



METAV2010
23 – 27 февраля
Düsseldorf



www.metav.de

Международная выставка технологий
и автоматизации металлообработки

ООО Messe Düsseldorf Moskau
Herr Michael Mandel
Krasnopresnenskaja nab. 14/2
Pavilion 7 · Moskau 123100
Tel: +7 495 605 1100 · Fax: +7 495 605 7207
E-Mail: MandelM@messed.ru

Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e.V.
Corneliusstraße 4 · 60325 Frankfurt am Main
Tel. +49 69 756081-0 · Fax +49 69 75608174
messe@vdw.de · www.metav.de



Eine Messe des
A Fair by **VDW**