

# Наиболее распространенные проблемы обработки на станках с ЧПУ, решаемые с помощью CAD/CAM/CAPP-системы ADEM

Даниил Зинченко, ведущий специалист (Группа компаний ADEM)

Сегодня на многих машиностроительных предприятиях России активно происходит техническое перевооружение производства. Обновляется устаревший станочный парк для механообработки, а также других видов обработки металлов (литье, термообработка, обработка металлов давлением и др.). К сожалению, не все предприятия (точнее, руководящий состав) понимают, что аппаратная автоматизация производства (станки с ЧПУ) должна быть неразрывно связана с программной автоматизацией (соответствующие CAD/CAM/CAE/PDM/MES-системы). Невозможно добиться качественного результата по повышению производительности только лишь путем покупки нового металлообрабатывающего станка, который очень часто потом программируется оператором вручную. Это лишает смысла все финансовые затраты – ведь без САМ-системы все команды и функции надо прописывать на стойке ЧПУ, да и проверять управляющую программу (УП) приходится непосредственно на станке.

Конечно же, очень много предприятий довели автоматизацию процессов производства до очень высокого уровня, внедрив у себя и МДС-системы для сбора аналитики и мониторинга использования оборудования с ЧПУ, и MES – для грамотного планирования производства, и PDM – для организации работы с конструкторско-технологическим составом изделия. Но и сегодня на профильных выставках по металлообработке можно услышать – “а что такое САМ-система?” или “мы закупили новые станки фирмы NNN, но их программирование осуществляем на контроллере ЧПУ”. При проведении грамотной финансовой политики стоимость систем автоматизации почти полностью растворяется на фоне стоимости металлообрабатывающего станка – тем более, что внедрение ПО не требует больших одноразовых финансовых вложений, и сумма может быть распределена по этапам.

Несмотря на активизацию процессов перевооружения производств, еще сохраняются станки советского образца, нуждающиеся в замене. Спрос на новейшие модели металлорежущих станков и обрабатывающих центров с ЧПУ еще значительно превалирует над предложением – точнее, над финансовыми возможностями предприятий по покупке того или иного вида оборудования. Эта ситуация стала наиболее острой в связи со значительным повышением курса иностранных валют и неспособностью отечественных станкостроительных предприятий

удовлетворить возрастающий спрос по удобоваримой цене.

В этой статье мы предлагаем читателям коснуться именно проблем внедрения систем автоматизации подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ (САМ-систем), а, следовательно, и проблем адаптации САМ-системы к производственным процессам. Ведь именно САМ-система по своему служебному назначению наиболее приближена к конечному результату деятельности машиностроительного предприятия – а именно, к изготовлению продукции в необходимые сроки в необходимом количестве согласно размерным характеристикам и техническим требованиям, указанным на чертеже. Таким образом, САМ-система является своеобразным буфером между виртуальной моделью и реальной деталью, и не всегда “коробочная” поставка может решить все многообразные проблемы в цехе – зачастую решать их приходится специалистам по внедрению, что сказывается и на ценообразовании в каждом конкретном случае.

Первая из таких проблем ранее уже описывалась в наших статьях: несинхронизированность приводов станка по линейным и круговым перемещениям. Речь идет о таких случаях, когда обработка уже спроектирована, управляющая программа получена, но станок не может корректно обработать все запрограммированные перемещения инструмента. Такие трудности имеют место при несовершенстве математического аппарата стойки ЧПУ.

Рассмотрим, например, несинхронность перемещений по угловым и линейным осям. Грубо говоря, по прямой инструмент перемещается быстро, а поворачивается (наклоняется) медленно. Когда обрабатывается участок траектории с небольшим линейным перемещением и довольно большим изменением угла наклона инструмента, происходит следующее: инструмент совершает перемещение по прямой, практически не изменяя угла наклона; затем, после того как инструмент уже пришел в конечную точку, осуществляется большая часть перемещения по угловым осям. Как результат – резцы на поверхности детали, получаемые вследствие неравномерности перемещений инструмента. Выход из этой ситуации один – компенсировать недостатки математических расчетов, выполняемых станком, средствами САМ-системы. В таких случаях система ADEM позволяет разбить большие перемещения по угловым и линейным осям на несколько участков, тем самым давая возможность станку выполнить

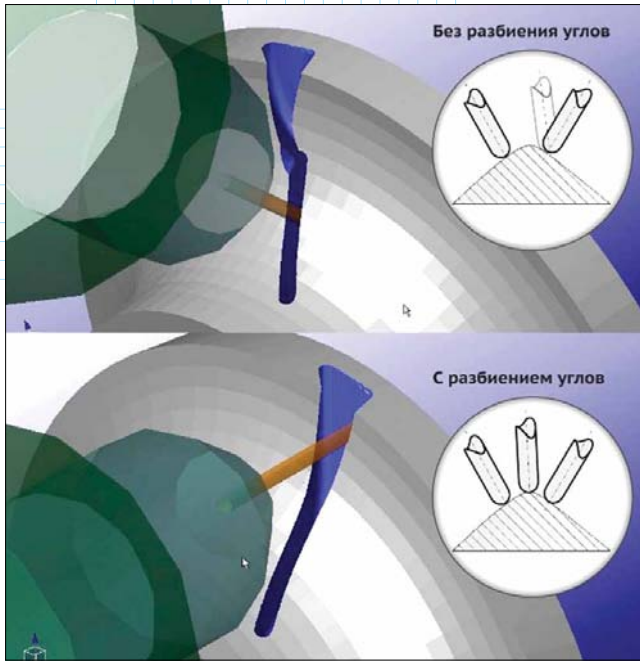


Рис. 1. Компенсация недостатков математического аппарата станков

перемещение и по линейным, и по угловым осям с примерно одинаковой скоростью. Так мы можем избежать появления дефектов в виде зарезов на формируемой поверхности (рис. 1).

Рассмотрим еще несколько случаев, относящихся к программированию обработки на станках с ЧПУ старого образца. К примеру, некоторые станки не поддерживают круговую интерполяцию в 360 градусов. За счет постпроцессора в программной среде *ADEM* эта проблема решается автоматически – дуга в 360 градусов разбивается на дуги по 90. Также нередко встречаются станки, которые не поддерживают функцию постоянной скорости резанья – *G96*. Специалисты Группы компаний *ADEM* обеспечили

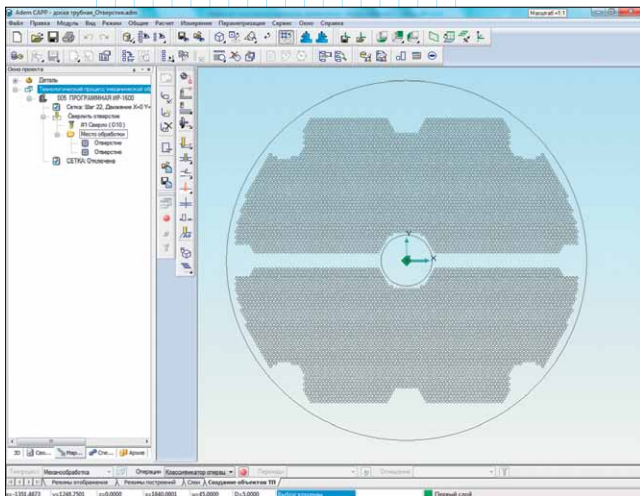


Рис. 2. Деталь с массивом отверстий, которая обрабатывается с помощью подпрограмм

автоматическую поддержку эту функции путем переключения оборотов в необходимых (рассчитываемых постпроцессором) точках.

В сегменте станков, программируемых с виртуальных стоек (например “*ncad*”), бывают ситуации, когда стойка не поддерживает радиусную коррекцию фрезы (*G41*, *G42*). В таких случаях единственным способом “поймать” точный размер остается использование возможностей *CAM*-системы. Допустим, мы произвели фрезеровку с помощью фрезы *D8*, и оказалось, что припуск снят не полностью. Такое случается при использовании фрезы с большим вылетом (в процессе обработки её отгибает), или если фреза “подсевшая”. В таком случае в *CAM*-системе *ADEM* меняется диаметр инструмента – к примеру, на *D7.9*.

Одной из “популярных” проблем станков с ЧПУ старого образца является недостаточность объема внутренней памяти для больших УП. Ввиду отсутствия *USB*-разъема, хранение на сменных электронных носителях также невозможно. Решением является автоматическое создание параметрических программ, что и было осуществлено на предприятии “*ЗиО-Подольск*” (рис. 2).

Задача была следующей: задать цикл глубокого сверления для массива отверстий – порядка

### Фрагмент УП с использованием подпрограмм

```
%MPF40
(T1 Sverlo D10)
(Setka: 7462 otv)
```

```
(1 rjad, 46 otv)
:1G90G0G55X-616Y-913.365Z0
N2W150
N3M3S500
N4W0
N5L41P22
N6L42
N7L41P22
N8L1
N9L35
```

```
(2 rjad, 48 otv)
:10G90G0G55X-627Y-894.313Z0
N11W0
N12L41P23
N13L43
N14L41P23
N15L1
N16L35
```

```
(3 rjad, 50 otv)
:17G90G0G55X-638Y-875.26Z0
N18W0
N19L41P24
N20L44
N21L41P24
N22L1
N23L35
```

Рис. 3

20 000, применяя при этом не обычные циклы типа G83, а стандартные циклы сверления стойки FANUC. Общая УП была разбита на подпрограммы нескольких типов:

- 1) многопроходное сверление глубоких отверстий;
- 2) сверление одного отверстия;
- 3) сверление  $n$ -отверстий при определенном шаге и уклоне строк сетки. К примеру, подпрограмма L41 предписывает повторить программу P23 определенное число раз.

Далее необходимо было объяснить технологам предприятия методику подготовки УП, чтобы они четко знали алгоритм своих действий. Исходные параметры для обработки: шаг отверстий по оси X, шаг отверстий по оси Y, угол наклона сетки отверстий. Выбор отверстий осуществляется рамкой. Задачей системы ADEM является формирование УП, которая программирует обработку отверстий в определенном порядке с помощью подпрограмм. Образец УП с использованием подпрограмм приведен на рис. 3.

Однако проблемы могут возникнуть и с более современным оборудованием. Зачастую предприятия покупают многокоординатные станки с урезанным функционалом по управлению центром инструмента в системе ЧПУ, тогда как он критически важен при программировании обработки на таких станках – например, функция

RTCP (*Rotation Tool Center Point*) в системе FANUC.

Исходя из таких реалий, специалисты Группы компаний ADEM разрабатывают постпроцессоры, заменяющие недостающие функции набором открытых команд для управления положением инструмента. На рис. 4 приведены для сравнения УП с наличием команды управления центром инструмента G43.3 и без нее, а результат обработки показан на рис. 5.

Изначально система ADEM формировалась как инструмент для решения реальных производственных задач, и во главу угла мы всегда ставим решение проблем, которые наиболее часто встречаются на производстве. Именно такой проблемой стал для нас контроль толщины стружки, снимаемой при фрезеровании.

В большинстве САМ-систем просто задается процент от диаметра инструмента, который соответствует глубине резания. Этим же параметром часто оперируют и поставщики режущего инструмента. Но, согласно теории резания, именно толщина стружки напрямую связана с силой резания и величиной подачи на зуб, тогда как зависимость между подачей на зуб и процентом от диаметра инструмента – тригонометрическая, а не прямая.

Режущая кромка инструмента правильно работает только в определенном диапазоне толщин

### Фрагмент УП с командой управления центром инструмента G43.3

```
Z250
S500 M3
A46.602 B64.231
G49
G43.4 Z250 H1
X-58.691 Y59.368
Z49.374 A46.602 B64.231
G1 X-60 Y60 Z48 F20
X-58.332 Z46.453 A44.849 B65.255
X-56.62 Z44.946 A43.068 B66.435
X-55.747 Z44.209 A42.168 B67.088
X-54.865 Z43.482 A41.263 B67.784
X-53.972 Z42.767 A40.355 B68.527
X-53.07 Z42.063 A39.443 B69.317
X-52.158 Z41.371 A38.529 B70.157
X-51.237 Z40.69 A37.614 B71.049
X-50.307 Z40.022 A36.699 B71.996
X-49.369 Z39.366 A35.786 B73.001
X-48.422 Z38.723 A34.875 B74.066
X-47.468 Z38.092 A33.969 B75.194
X-46.505 Z37.474 A33.068 B76.389
X-45.535 Z36.869 A32.175 B77.653
X-44.558 Z36.277 A31.291 B78.991
X-43.574 Z35.699 A30.418 B80.406
X-42.277 Z34.963 A29.295 B82.381
X-41.278 Z34.416 A28.457 B83.989
X-40.272 Z33.882 A27.638 B85.691
X-39.258 Z33.361 A26.84 B87.491
X-38.236 Z32.853 A26.066 B89.393
X-37.207 Z32.358 A25.319 B91.399
```

### Фрагмент УП без команды управления центром инструмента G43.3

```
Z250
S500 M3
G53 G90 Z780
A46.602 B64.231
X27.948 Y89.922
Z-23.235
G1 Z-25.235 F20
X30.074 Y88.125 Z-22.139 A44.849 B65.255
X32.36 Y86.13 Z-18.984 A43.068 B66.435
X33.563 Y85.05 Z-17.385 A42.168 B67.088
X34.802 Y83.909 Z-15.775 A41.263 B67.784
X36.078 Y82.705 Z-14.154 A40.355 B68.527
X37.389 Y81.431 Z-12.523 A39.443 B69.317
X38.733 Y80.083 Z-10.883 A38.529 B70.157
X40.109 Y78.657 Z-9.238 A37.614 B71.049
X41.514 Y77.147 Z-7.586 A36.699 B71.996
X42.945 Y75.548 Z-5.931 A35.786 B73.001
X44.401 Y73.854 Z-4.274 A34.875 B74.066
X45.878 Y72.06 Z-2.618 A33.969 B75.194
X47.371 Y70.158 Z-0.963 A33.068 B76.389
X48.876 Y68.143 Z0.688 A32.175 B77.653
X50.387 Y66.009 Z2.332 A31.291 B78.991
X51.899 Y63.749 Z3.969 A30.418 B80.406
X53.865 Y60.59 Z6.095 A29.295 B82.381
X55.348 Y58.014 Z7.703 A28.457 B83.989
X56.805 Y55.287 Z9.297 A27.638 B85.691
X58.224 Y52.401 Z10.873 A26.84 B87.491
X59.591 Y49.352 Z12.432 A26.066 B89.393
X60.891 Y46.137 Z13.969 A25.319 B91.399
```

Рис. 4

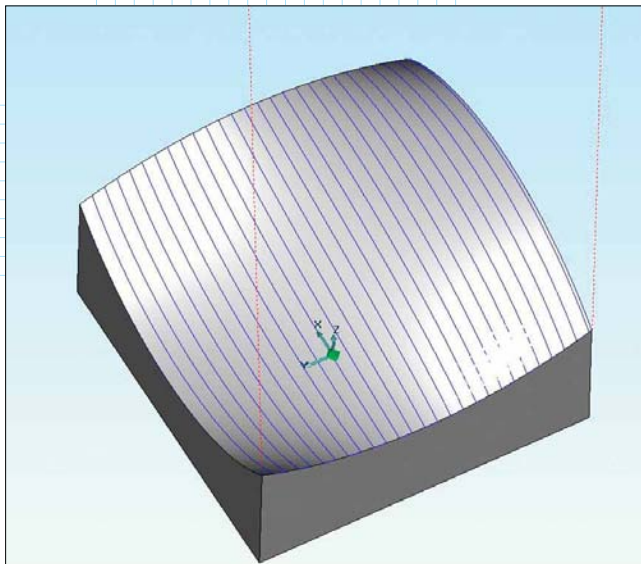


Рис. 5. Образец поверхности, обработанной с использованием команды управления центром инструмента и без этой команды

стружки. Если толщина стружки больше – режущая кромка ломается, если меньше – происходит “засаливание” инструмента. Фреза проскальзывает по заготовке, снимает стружку меньше указанной величины и стирается по задней кромке, в связи с чем повышаются температуры в зоне резания и вероятность *наклёпа* поверхностного слоя заготовки (наклёп – упрочнение металлов и сплавов вследствие изменения их структуры и фазового состава в процессе пластической деформации при температуре ниже температуры рекристаллизации).

На современных станках с ЧПУ почти всегда имеется индикация усилия на приводы при обработке. Это, в сущности, и есть сила резанья в той или иной плоскости, на которую проецируется вектор силы. Когда на станке обрабатывается УП, сгенерированная в системе *ADEM*, усилия резанья не имеют резких скачков и находятся в пределах 5% от предыдущего показателя в каждый следующий момент времени. Если же *CAM*-система контролирует процент от диаметра инструмента, то эти скачки носят внезапный характер и достигают 20%, что станками зачастую квалифицируется как удар. Особенно важно это для чувствительных станков с датчиками отслеживания усилия на приводы. Такие станки при резком повышении усилия просто останавливаются в аварийном режиме, что может свести на нет всю уже осуществленную обработку детали.

Такая проблема имела место на предприятии РСК “МиГ” при обработке пластичной и вязкой нержавеющей стали на 3-координатных станках *Macodel Willemin M920*. При использовании УП, подготовленных с помощью конкурирующих *CAM*-систем, станок просто останавливался. Управляющие программы, сгенерированные системой *ADEM*, позволили станку работать в стабильном

режиме инструментом *Sandvik CoroMill 210* (для которого, кстати, производитель указывает именно параметр диапазона подачи на зуб, а не процент от диаметра) и при вращении шпинделя с частотой 1700 об/мин обеспечивать подачу 0.7÷0.75 мм/зуб.

Следующая проблема, с которой столкнулись наши специалисты по внедрению, существовала на одном из предприятий авиационного машиностроения. Она заключалась в отсутствии опции контроля положения инструмента при работе с осями вращения – не поддерживался вывод в УП координат, функционально зависящих от параметров вылета инструмента. Предприятие приобрело 5-координатный токарно-фрезерный станок с приводным инструментом и качающимся шпинделем. Однако станок имел существенный технический изъян: при переключении в режим фрезерования он терял ранее выбранную систему координат детали. То есть, невозможно было осуществить фрезерную обработку – сбивались все заданные корректоры на инструмент и терялась траектория; станок начал бесконтрольно фрезеровать в неподвижной точке, с риском столкновения инструмента с неподвижными узлами в рабочей камере. Для решения проблемы специалистами *ADEM* был разработан отдельный постпроцессор, который выдавал оператору запрос на стойке с ЧПУ – о том, что нужно заново осуществить обмер детали щупом, задать новую систему координат и внести соответствующие данные в пустые поля запроса. Таким образом, проблема была решена, хотя для этого и пришлось пожертвовать производительностью – время обработки ощутимо увеличилось.

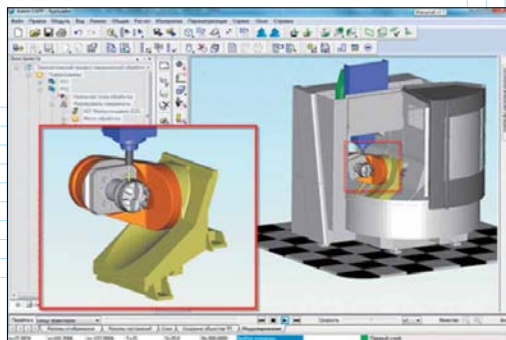
Еще одна проблема, с которой нам пришлось иметь дело, заключалась в необходимости реализовать работу с контрольно-измерительными циклами и выводить результаты измерения в файл отчета. На одном из предприятий был закуплен 5-координатный вертикально-фрезерный станок с измерительными датчиками фирмы *Renishaw*. Номенклатура производства состояла из мелкогабаритных деталей, которых на рабочем столе станка могло разместиться несколько десятков. Соответственно, возникла задача автоматически осуществлять межоперационный обмер каждой детали (дабы не делать это вручную, что отнимает уйму времени, да и “залезть” в некоторые поднутрения физически сложно; кроме того, когда деталь снимается для обмера контроллером, то нарушается базирование на столе и сбивается “ноль детали”). Эта задача была успешно решена специалистами *ADEM* путем создания отдельного постпроцессора с программированием измерительных циклов датчика и генерированием файла отчета. Как результат, на выходе имелась готовая УП для обработки детали и файл отчета с данными измерения (рис. 6).

Как известно, умение работать со встроенными циклами системы ЧПУ позволяет значительно сократить размер УП и упростить процесс задания и контроля параметров обработки. Кроме того,

короткая УП значительно легче считывается системой ЧПУ, которая перед следующим кадром успевает дать соответствующую команду на приводы станка. В нашем случае очередной задачей стало формирование циклов обработки с учетом INI-файлов производителя устройства ЧПУ (*ShopTurn* и *ShopMill* от *Siemens*). Эти интерфейсы системы ЧПУ *Siemens* предназначены, соответственно, для задания циклами токарной и фрезерной обработки. Проблема заключалась в том, что задать обработку с их помощью можно только на экране стойки. Чтобы такие же внешние циклы воспринимались как свои собственные, необходимо перед каждым циклом и после него прописывать множество параметров, которые позволяют системе ЧПУ сказать: "да, это собственный цикл".

Нередко предприятия, покупая новый станок с ЧПУ, не знают, для каких целей он будет применяться через год-два, когда серия деталей, для изготовления которых он предназначался, будет завершена. Да и вообще технологу сложно предвидеть, с какими ограничениями в работе станка он столкнется на каждой новой детали. Особенно это характерно для единичного производства на станках со сложной кинематикой.

Рассмотрим использование многокоординатного станка с поворотными осями *B* (вращение инструмента) и *C* для обработки камеры стыковочного узла космической станции. Первоначально планировалось вести обработку на станке с поворотным столом (вращение по оси *C*) и поворотным



*Рис. 6. Пример моделирования 5-координатной обработки с использованием измерительных циклов*

шпинделем (вращение по оси *B*). Однако размеры рабочей зоны оказались недостаточными, чтобы вместить такую крупногабаритную деталь. При этом обрабатывать следовало инструментом с большим вылетом, чтоб добраться до всех поднутрений. Задача была решена так. С помощью постпроцессора было реализовано синхронное движение инструмента одновременно по двум осям: поступательное движение в направлении углубления отверстия и разворот инструмента, чтобы не было столкновения с кромкой отверстия на детали.

Я постарался коротко описать характер проблем, которые решаются с помощью средств программной автоматизации обработки на станках с ЧПУ. Как можно увидеть из вышесказанного, их достаточно. Повышение производительности оборудования не ограничивается лишь обновлением станочного парка предприятия – этот процесс зависит от многих факторов. Программная автоматизация производства тоже не является окончательным критерием оценки уровня и культуры производства. Этот показатель зависит, прежде всего, от волевого решения и желания руководства идти в ногу со временем, использовать современные – как аппаратные, так и программные – средства автоматизации и контроля производства, а также, зачастую, жертвовать кратковременным покиданием привычной зоны комфорта предприятия ради более высоких качественных и количественных показателей в будущем. ☺



# ADEM

C A D / C A M / C A P P

Сквозная подготовка производства  
на вебинарах по четвергам  
в 10.00 по московскому времени!!!  
Вся информация на сайте:

http://www.adem.ru

**Москва:**  
ул. Иркутская, д.11, офис 244  
Тел. +7(495) 462 01 56  
+7 (495) 502 13 41  
e-mail: moscow@adem.ru

**Ижевск:**  
ул. Красноармейская, д.69  
Тел: +7 (3412) 522 341  
+7 (3412) 522 433  
e-mail: izhevsk@adem.ru

**Екатеринбург:**  
ООО "Уральское Отделение АДЕМ"  
620147, а/я 70  
Тел/факс: +7 (343) 267 44 25  
Моб: +7 (922) 224 31 90  
e-mail: adem@urmail.ru