

УДК 67.02

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА АВИАЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИИ НА СТАНКАХ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

© 2014 А.В. Маданов

Ульяновский государственный университет

Поступила в редакцию 10.09.2014

В статье рассматривается проблемы обработки деталей сложной геометрии на станках с ЧПУ. Описаны методы решения данных проблем на этапе технологической подготовки производства. Предложен способ технологической классификации поверхностей и элементов деталей.

Ключевые слова: *механическая обработка, фрезерование, деталь, CAD/CAM система, станок с ЧПУ*

В настоящее время в целях повышения эффективности управления жизненным циклом изделия предприятия стремятся оптимизировать свою деятельность на всех этапах производства. Формирование и реализация современных концепций механообрабатывающего производства на основе применения автоматизированных систем технологической подготовки производства является одним из ключевых элементов модернизации отечественной промышленности, которая выражается в существенном повышении производительности обработки, повышении качества обработанных деталей, снижении процента брака, сокращении времени технологической подготовки производства. Внедрение современных методов механообработки особо актуально для высокотехнологичных отраслей промышленности и прежде всего авиастроительной.

Особенности механообрабатывающего производства в авиационной промышленности обусловлены сложностью геометрии деталей авиационной техники, используемых материалов, способов обработки. Кроме того, обеспечение технологической подготовки механообрабатывающего оборудования требует значительного количества квалифицированных специалистов. Таким образом, остро встает вопрос качества и технологичности разработки управляющих программ (УП) для станков с числовым программным управлением (ЧПУ). Для формирования представления о текущем состоянии данного вопроса и определения направлений для разработки возможных решений был проведен анализ особенностей технологической подготовки

производства сложных деталей на основе номенклатуры механообрабатывающих цехов ЗАО «Авиастар-СП».

Описание видов авиационных деталей сложной геометрии и особенностей их обработки. Особенностью фрезерной обработки в авиационной отрасли является наличие широкой номенклатуры деталей сложной геометрии с большим количеством криволинейных поверхностей, наклонных ребер, скруглений, полотен и стенок малой толщины. Существует ряд проблем, оказывающих влияние на качество и производительность изготовления таких деталей, к которым относятся:

- вибрации инструмента и детали во время обработки;
- деформации детали во время обработки;
- некорректное построение траектории инструмента стандартными шаблонами операций САМ-системы;
- неверный выбор шаблонов операций САМ-системы при подготовке УП;
- сложность базирования заготовок в виде штамповок и отливок;
- низкое качество заготовок;
- неверный выбор типа станка;
- неверный выбор приспособлений для крепежа заготовки;
- ошибки при выборе инструмента и назначении режимов резания.

Несмотря на высокую сложность геометрии авиационных деталей и различный характер возникающих при их обработке проблем, такие детали могут быть сгруппированы на основе общих признаков, типов обрабатываемых элементов и поверхностей, применяемых станков и способов решения возникающих проблем. Можно выделить несколько типов деталей из

Маданов Александр Владимирович, младший научный сотрудник центра CALS-технологий. E-mail: madanov.alexandr@yandex.ru

номенклатуры ЗАО «Авистар-СП», при обработке которых возникают различные сложности:

- силовые детали с ребрами жесткости с двух сторон, толщиной стенок от 5 мм и толщиной полотен от 3 мм (например, обод шпангоута, см. рис. 1). Для обработки таких деталей в основном применяются 3-х осевые станки, за исключением деталей с наличием закрытых малок. Обработка происходит минимум в 4 установка по схеме припусков 5 мм - 1 мм - 0 мм. Такая схема обработки необходима для компенсации деформации и постепенного снятия внутренних напряжений. Основная сложность при обработке таких деталей – это предотвращение вибрации, возникающей из-за относительно большой высоты стенок детали. Для обработки требуются фрезы с большим вылетом. Обработка ведётся на сниженных режимах резания.

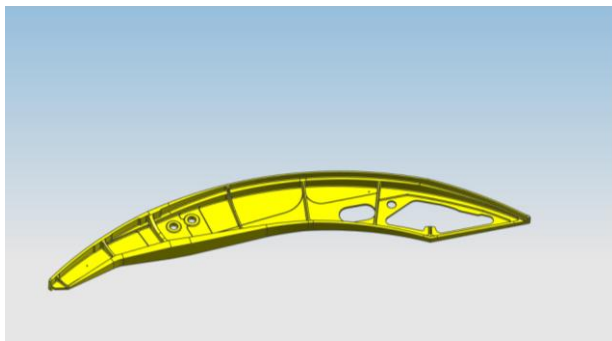


Рис. 1. Деталь «Обод шпангоута»

- длинномерные детали длиной до 30 м небольшого сечения (например, стрингер). При обработке могут возникать деформации детали, поэтому обычно применяются станки с установленными подвижными тисками, а также для базирования в таких тисках применяются специальные губки. Как правило, форма заготовки совпадает с профилем детали. Фрезеровать необходимо подсечки, обнижения, фаски, радиусы скругления.

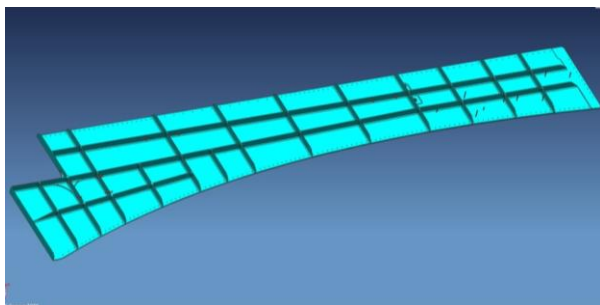


Рис. 2. Деталь типа «Панель»

- тонкостенные детали, оснащенные ребрами жесткости с одной или двух сторон, с толщиной полотна от 1 мм (например, панель, см. рис. 2). При обработке таких деталей часто возникают

коробления. Для обработки применяются станки с вакуумным столом или вакуумной оснасткой. Основное требование к технологии обработки состоит в том, что все отверстия вскрываются в последнюю очередь, для того чтобы не нарушить вакуумное крепление.

- детали, поверхности которых выходят на теоретический контур самолета (например, окантовка двери самолёта, рама фонаря кабины пилота). Такие детали имеют сложную форму, поверхности одинарной и двойной кривизны, закрытые карманы. При изготовлении применяется 5-ти осевые станки и специальные грибковые фрезы. При написании УП программистам часто приходится делать дополнительные построения в CAD системе (создавать технологическую модель детали) для корректного формирования траектории инструмента операциями CAM системы, а также подготовки технологических баз. При выборе способов повышения качества и производительности обработки деталей важным критерием является их экономическая эффективность, обеспечивающая снижение себестоимости готовых изделий, что особенно актуально в условиях низкой серийности изготовления.

Анализ проблем при обработке деталей сложной геометрии и путей их решения на этапе технологической подготовки производства. Рассмотрим подробнее описанные выше проблемы при обработке деталей сложной геометрии и пути их решения. Так как указанные типы детали имеют схожие технологические процессы обработки, в целях снижения трудоёмкости процесса подготовки УП в САМ системе, а также повышения качества УП для данных типов деталей могут быть разработаны шаблоны типовых операций обработки, содержащие предварительно настроенные операции, режимы резания, модели оснастки и модели инструментальных наладок. Это позволит избежать ошибок связанных с неверным выбором приспособлений для крепежа заготовки, неверным выбором инструмента и режимов резания. В работе [1] описаны методики подготовки таких шаблонов обработки, а также библиотек инструментальных наладок и режимов резания.

Для решения проблемы вибрации применяется более жесткое крепление детали в тисках и подбор режимов резания. Программист корректирует в сторону уменьшения съём материала, а оператор-наладчик опытным путем подбирает обороты и подачу, корректируя заданные программистом параметры при помощи потенциометра. Из опыта зарубежных коллег следует отметить применение станков с роликовыми механизмами, придерживающими заготовку в

процессе обработки, а также стратегию обработки с большим припуском, при которой не снятый припуск вокруг зоны резания обеспечивает дополнительную жесткость заготовки. К основным способам борьбы с вибрацией можно также отнести:

- использование отбалансированной инструментальной наладки;
- уменьшение вылета инструмента;
- применение виброгасящих оправок;
- применение термооправок;
- использование специальной оснастки;
- варьирование режимов резания.

Важную роль при технологической подготовке производства имеет выбор технологической оснастки. Однако при проектировании оснастки часто используются неэффективные методы крепления. Особенно актуальна данная проблема при обработке деталей с большой площадью полотен малой толщины. В процессе эксплуатации самолета такие детали воспринимают большую часть нагрузок, возникающих в конструкции самолета (детали центроплана, шпангоуты, кронштейны, стенки нервюры, шасси). Частичное решение данной проблемы достигается за счет применения прижимающих приспособлений, которые устанавливают и перемещают по заготовке вблизи зоны резания. Таким образом, обеспечивается дополнительное прижимающее воздействие, не дающее инструменту поднимать полотно. Недостатком существующего подхода являются большие потери на подготовительно-заключительное время.

В качестве альтернативы можно использовать вакуумные приспособления и эксцентриковые зажимы. Вакуумные приводы обеспечивают прижим заготовки к опорной плоскости корпуса силой атмосферного давления за счет создания полости с разреженным воздухом с одной из ее сторон. В этом случае заготовка не деформируется под действием сосредоточенных сил зажима, поэтому вакуумные приспособления особенно удобны при закреплении тонких плоских деталей. Они применяются и для закрепления заготовок с криволинейной базовой поверхностью. Использование вакуумных приспособлений позволяет избежать вибрации, что при обработке тонких стенок дает большую точность и меньшую шероховатость. Также вакуумный метод крепления позволяет сократить количество прижимов, что сокращает подготовительно-заключительное время.

При механической обработке деталей сложной геометрии часто происходят деформации вследствие наличия в заготовках внутренних напряжений. Величина и характер распределения остаточных напряжений зависят от

конфигурации заготовки, ее габаритных размеров и соотношения размеров отдельных элементов, способа получения исходной заготовки и других факторов. Большие остаточные напряжения возникают в исходных заготовках, получаемых литьем, ковкой, штамповкой, из-за неравномерного охлаждения разных элементов заготовки. Величину деформаций не всегда можно компенсировать введением дополнительных припусков на обработку. При снятии припуска часто происходят коробления заготовки по полотно, поэтому в техпроцесс вводят правку после обработки. Происходящие во время обработки деформации являются крайне неустойчивым процессом, и прогнозирование характера таких деформаций возможно лишь в ряде случаев.

В настоящее время данная проблема решается путем закладки в техпроцесс обработки в несколько переходов с уменьшением глубины резания и введением чистового прохода. На первом проходе деталь обрабатывается со всех сторон. Величина припуска должна быть достаточной для высвобождения всего потенциала возможных деформаций. Далее заготовке необходимо отлежаться. На последующих переходах учитываются коробления заготовки, и в пределах оставшегося припуска дальнейшие деформации компенсируются за счет неравномерного съема металла. Кроме того для исключения или уменьшения возможных деформаций во время обработки детали необходимо разработать правильный техпроцесс термической обработки заготовки.

Для сокращения машинного времени, а также из-за технологических требований (структура и направление волокон материала и т.п.) некоторые детали производятся из штамповок и отливок. Штампованные заготовки отличаются друг от друга, в связи с этим нет точного повторения баз, возникает проблема сложности базирования таких заготовок. Как следствие изменяется припуск на заготовки, что в результате приводит к неравномерному съему металла. При этом нецелесообразно постоянно корректировать операции в уже отработанном (внедренном) комплекте УП, поскольку каждая новая партия штамповок может иметь свои отличия.

Существует два варианта решения проблемы погрешности заготовок. В первом случае программист изначально вводит в УП разгрузки дополнительные проходы (по воздуху). Однако дополнительные проходы значительно увеличивает машинное время. Согласно второму варианту оператор производит смещение системы координат детали (относительного нуля) вверх по оси Z, поднимая при этом начальные уровни обработки. Потери машинного времени в этом

случае меньше, т.к. оператор знает величину смещения для каждой конкретной штамповки. Таким образом, недостатками существующих методов являются зависимость результата работы от квалификации оператора станка с ЧПУ, а также увеличение машинного времени, что отрицательно сказывается на себестоимости детали.

Более эффективным решением проблем базирования заготовок и учёта деформаций могло бы стать внедрение адаптивной обработки, подразумевающей подготовку специальных управляющих программ с учётом предварительного обмера заготовки на станке с помощью датчика Renishaw. При адаптивной обработке управляющая программа автоматически корректируется по результатам обмера контрольных точек, что снижает требования к квалификации оператора, а также сокращает машинное время обработки за счёт исключения проходов по воздуху. Однако данный способ требует разработки дополнительных программ обмера заготовки и технологии корректировки управляющих программ обработки. Ужесточение требований к заготовительному хозяйству, введение более жестких допусков на заготовки могут позволить решить данную проблему, однако существенно повысят стоимость производства заготовок.

Часто при подготовке УП для деталей со сложными криволинейными поверхностями, большим количеством скруглений программист сталкивается с невозможностью или некорректностью построения траектории движения инструмента стандартными шаблонами операций САМ системы. Это связано со спецификой математического аппарата, заложенного в стандартных шаблонах САМ-системы. В таких ситуациях программисту приходится создавать технологические модели детали, с помощью дополнительных построений упрощать геометрию детали так, чтобы САМ-система строила корректную траекторию обработки (см. рис. 3). Совокупность траекторий инструмента построенных по технологическим моделям позволяет формировать корректные управляющие программы обработки детали. Например, для шаблонов САМ-системы NX:

- для операции `CONTOUR_PROFILE` необходимо выравнять высоту стенок, удалять скругления при основании, моделировать пол (в некоторых случаях);
- для операций `VARIABLE_CONTOUR`, `VARIABLE_STREAMLINE` желательно удалять отверстия;
- для операции `VARIABLE_CONTOUR` с использованием метода «площадь поверхности» необходимо моделировать поверхность для проектирования метода управления траекторией.

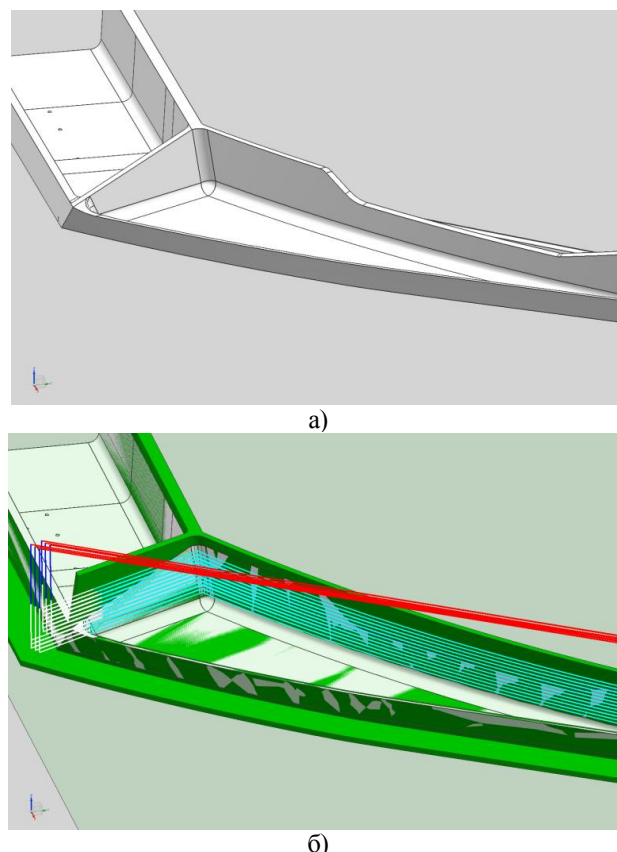


Рис. 3. Модель детали сложной геометрии (а), технологическая модель детали с построенной в САМ системе NX траекторией инструмента (б)

Из приведенных выше примеров видно, что шаблоны обработки из поставки САМ-модуля системы NX обладают своей спецификой, которой владеет не каждый программист, и требуют особых настроек под обработку каждой детали. Кроме того инженеры-программисты из-за отсутствия достаточного опыта могут совершать ошибки при выборе шаблонов операций САМ-системы для обработки различных конструктивно-технологических элементов детали.

Решением данной проблемы могло бы стать использование предварительно настроенных шаблонов САМ операций под обработку отдельных конструктивно-технологических элементов или их совокупностей. При выборе шаблонов обработки целесообразно декомпозировать деталь по типам элементов, для которых характерно использование определенных шаблонов САМ системы. Для этого была проведена классификация элементов деталей сложной геометрии, для которых с учетом типа станка определены шаблоны обработки Siemens NX CAM с комментариями по их применению и настройке и обозначен рекомендуемый режущий инструмент. Часть данной классификации представлена в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Классификация элементов деталей типа бобышка

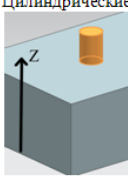
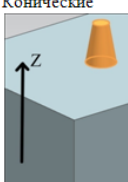
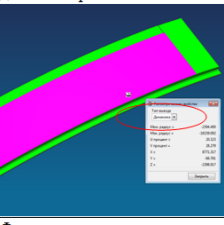
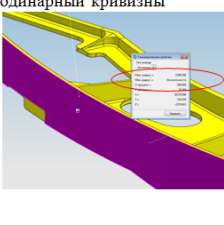
Тип поверхности	3х-осевая обработка			5ти-осевая обработка		
	CAM шаблон	Инструмент	Комментарий	CAM шаблон	Инструмент	Комментарий
Поверхности, представляющие собой тела вращения						
Бобышки						
Цилиндрические 	ZLEVEL_PROFILE  PLANAR_MILL 	концевая фреза	Необходимо применять обработку по уровням. Высота между уровнями выбирается исходя из рекомендаций производителя инструмента, так же она зависит от вылета инструмента (чем больше вылет, тем больше вибрация - тем меньше нужно задавать высоту между уровнями). Предпочтительнее использовать ZLEVEL_PROFILE, так как зачастую торец цилиндра имеет фасонную форму. При плоском торце операции равнозначны.	ZLEVEL_5AXIS 	концевая фреза со сферическим торцом (шаровая фреза либо концевая фреза с радиусом у торца равным радиусу фрезы)	ZLEVEL_5AXIS Применение данной операции целесообразно для сокращения вылета инструментальной наладки в случае большой относительной высоты конструктивного элемента
Конические 	ZLEVEL_PROFILE  CONTOUR_AREA 	концевая фреза	Необходимо применять поэтапную обработку с маленьким шагом (0.1-0.5 мм) что увеличивает время фрезерования. В большинстве случаев предпочтительнее выбрать ZLEVEL_PROFILE, так как траектория будет иметь более четкую этажность и более плавную (без «скачков» по Z) траекторию по сравнению с CONTOUR_AREA. Шаблон CONTOUR_AREA можно применить при большом угле при вершине конуса	ZLEVEL_5AXIS  VARIABLE_CONTOUR  VARIABLE_STREAMLINE  CONTOUR_PROFILE 	концевая фреза со сферическим торцом, концевая фреза	ZLEVEL_5AXIS Применение данной операции целесообразно в случае большой относительной высоты, для сокращения вылета инструментальной наладки. В основном предпочтительно использовать CONTOUR_PROFILE. Если траектория создается некорректно, возможно применение VARIABLE_CONTOUR или VARIABLE_STREAMLINE.

Таблица 2. Классификация сложных поверхностей

Тип поверхности	3х-осевая обработка			5ти-осевая обработка		
	CAM шаблон	Инструмент	Комментарий	CAM шаблон	Инструмент	Комментарий
Поверхности, представляющие собой тела вращения						
Сложные поверхности						
Фасонные поверхности двойной кривизны 	CONTOUR_AREA 	Концевая фреза, концевая фреза с радиусом у торца	Применение данной операции крайне нецелесообразно, т.к. для получения нужной чистоты необходимо делать маленький шаг обработки (0.2-0.5 мм)	VARIABLE_STREAMLINE  VARIABLE_CONTOUR 	Концевая фреза, концевая фреза с радиусом у торца	Выбор шаблона VARIABLE_STREAMLINE или VARIABLE_CONTOUR зависит от границ геометрии детали и корректности наложения траектории.
Фасонные поверхности одинарной кривизны 	PLANAR_MILL  ZLEVEL_PROFILE 	Концевая фреза, концевая фреза с радиусом у торца	Если стенки ровные по высоте, то предпочтительнее выбирать PLANAR_MILL. В случае фасонного профиля стенок предпочтительнее использовать ZLEVEL_PROFILE для сокращения времени фрезерования	ZLEVEL_5AXIS  Операции 3+2 PLANAR_MILL  ZLEVEL_PROFILE 	Концевая фреза, концевая фреза с радиусом у торца	ZLEVEL_5AXIS применима при большой относительной высоте стенки для уменьшения вылета инструмента.

Выводы: в работе был проведен анализ особенностей технологической подготовки производства сложных деталей на основе номенклатуры механообрабатывающих цехов ЗАО «Авиастар-СП». Результаты анализа свидетельствуют о наличии целого ряда проблем в области механообработки деталей со сложной геометрией.

Сделан вывод о необходимости повышения эффективности подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ по следующим направлениям:

- формирование источников технологической информации для подготовки УП;

- использование специальных средств базирования деталей со сложной геометрией;
- разработка типовых подходов для обработки групп деталей со сложной геометрией и их элементов;
- правильный выбор оборудования с учетом требуемого качества и производительности;
- разработка средств автоматизации процесса подготовки управляющих программ.

Была произведена классификация обрабатываемых элементов деталей из номенклатуры механообрабатывающих цехов ЗАО «Авиастар-СП» с учетом выбора оборудования, инструмента и шаблонов обработки. Эта классификация

может быть использована для разработки автоматизированных систем анализа геометрии детали и систем поддержки принятия решений в процессе технологической подготовки производства.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Дрянушкин, А.А. Методики создания шаблонов обработки и библиотеки станочной оснастки для разработки управляющих программ в среде NX 7.5 / А.А. Дрянушкин и др. // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т. 15, № 4(3). С. 683-687.

THE ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL PREPARATION OF PRODUCTION THE AVIATION DETAILS OF COMPLEX GEOMETRY ON MACHINES WITH NUMERICAL PROGRAM CONTROL

© 2014 A.V. Madanov

Ulyanovsk State University

In article it is considered the problems of processing the details of difficult geometry on machines with numerical program control (NPC). Methods of the solution of these problems at a stage of technological preparation of production are described. The way of technological classification of surfaces and elements of details is offered.

Key words: *machining, milling, detail, CAD/CAM system, machine with NPC*