



Ключевые слова:
CAM-система, моделирование, турбинная лопатка, фрезерование, черновая и чистовая обработка

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБРАБОТКИ ТУРБИННОЙ ЛОПАТКИ В СОВРЕМЕННОЙ САМ-СИСТЕМЕ

НА ПРИМЕРЕ РАБОТЫ В СИСТЕМЕ ADEM CAM

**Алексей САЛЬНИКОВ, Андрей АВВАКУМОВ,
Константин КАРАБЧЕЕВ**

Представлена одна из методик задания фрезерных переходов при обработке турбинных лопаток, базирующаяся на возможности разделять зоны обработки и использовать для каждой зоны оптимальный инструмент.

Традиционный подход заключается в следующем: непрерывная обработка по спирали пера лопатки и после этого доработка замковой части (рис. 1). Но этот подход имеет ряд недостатков:

1. Требуется использования сферического инструмента, так как стандартный концевой инструмент будет «нахлопываться» торцем на припуск при переходе с поверхности «корыта» на поверхность «горба», что приведет к поломке.
2. На радиусах скругления будет грубая огранка, даже при жесткой аппроксимации. Причем чем больше кривизна пера, тем более существенными будут дефекты. Кроме того, из-за очень коротких перемещений в кадрах значительно падает реальная подача, что приводит к ускорению износа («засаливанию») инструмента. В результате этого ухудшается

качество обработки и возрастает доля слесарной доводки.

Для получения качественных поверхностей в системе ADEM CAM присутствует возможность разделять зоны обработки и использовать для каждой зоны оптимальный инструмент.

Обработку поверхностей «корыта» и радиусов скругления необходимо производить сферическим инструментом с максимально возможным боковым упреждением продольными проходами. Это позволяет:

- исключить обработку с нулевой скоростью резания;
- увеличить длину перемещений в кадре;
- обработать радиус скругления с точностью станка.

Обработку «горба» пера необходимо производить концевой фрезой с радиусом на торце поперечными проходами с минимальным, но отличным от нуля, продольным угловым упреждением. Это позволяет получить практически зеркальную поверхность.

Итак, в модуле CAD создается модель лопатки: ее выпуклая и вогнутая части, которые условно называются «горб» и «корыто», и два хвостовика лопатки (рис. 2).

Процесс черновой (предварительной) и чистовой обработки может быть выполнен в рамках одной операции, но в нашем случае для удобства моделирования он выполнен в двух операциях;

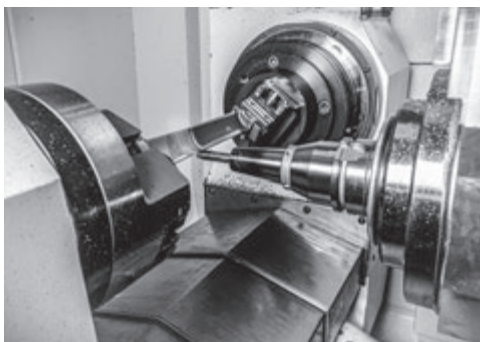


Рис. 1.
Обработка турбинной лопатки

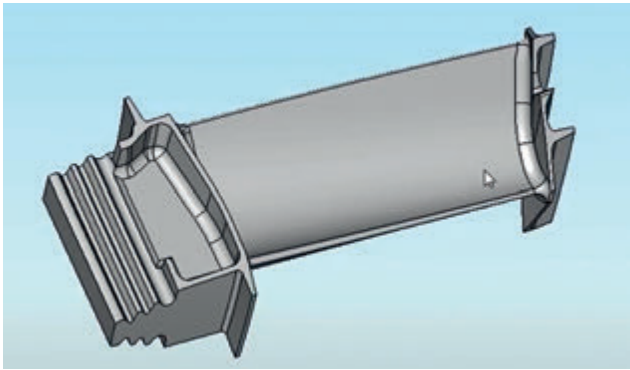


Рис. 2. Модель турбинной лопатки

1. спиральная черновая обработка в 4-х координатах с наклоном инструмента (рис. 3);
 2. чистовая обработка поочередно выпуклой и вогнутой части лопасти.
- Первая операция состоит из двух групп переходов:
- предварительная обработка хвостовика (обработка части смежной с основной). Эта

группа переходов содержит позиционное и предварительное 5-координатное фрезерование;

- черновая обработка лопасти. Последний тип фрезерования выполняется в пяти координатах с припуском с каждой стороны лопатки (сторона «корыта» и сторона «горба»).

Задав параметры фрезерования (конструктивный элемент, инструмент, схема обработки, режимы резания), выполним расчет траектории движения для первой операции черновой (предварительной) обработки и до передачи УП на станок, сможем посмотреть, как будет выглядеть процесс обработки (последовательное моделирование заданных переходов) непосредственно на станке (рис. 4).

Предварительно отформованная заготовка крепится в приспособлениях с двух сторон (рис. 5). Такой способ закрепления позволяет избежать консольного способа установки, повысить жесткость всей системы и, соответственно, упростить процесс обработки лопатки.

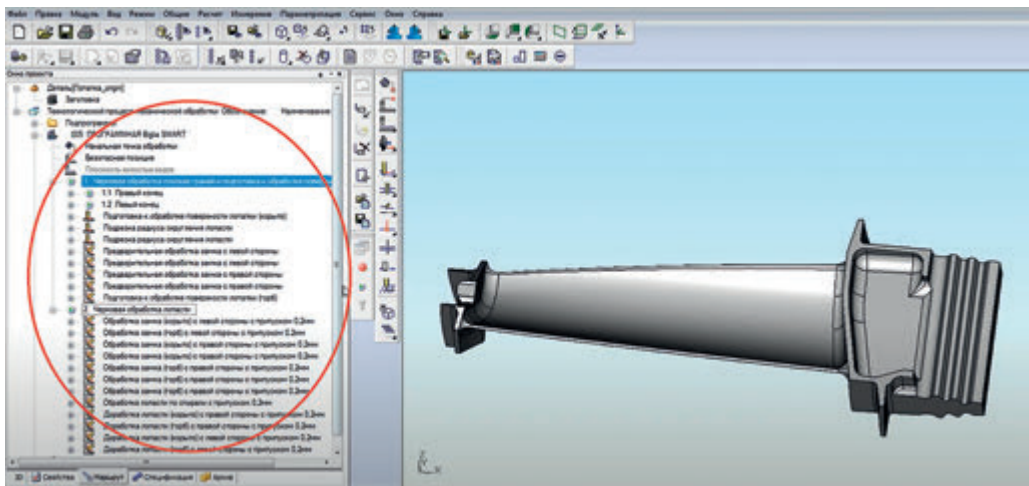


Рис. 3. Черновая и предварительная обработка (маршрут)

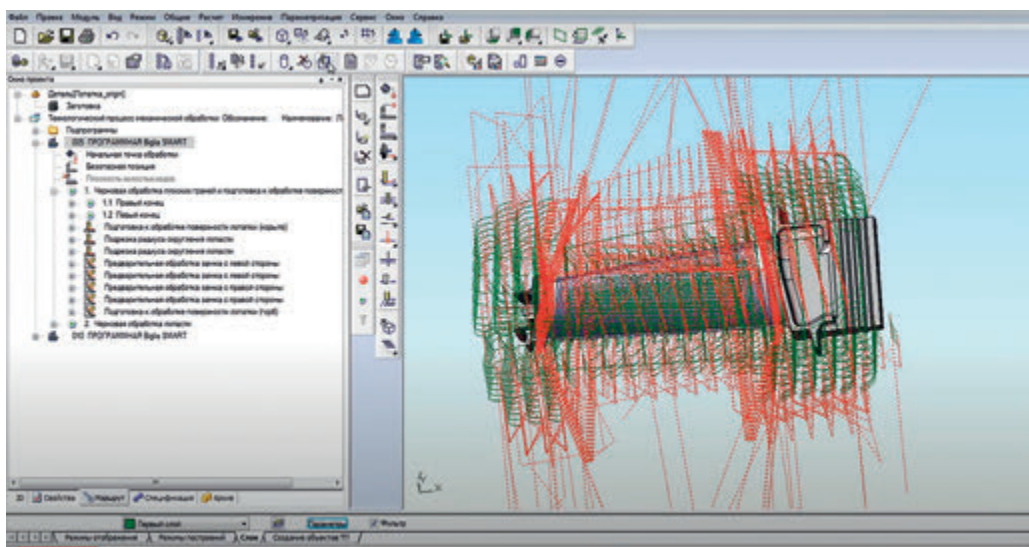


Рис. 4. Черновая и предварительная обработка (расчет)

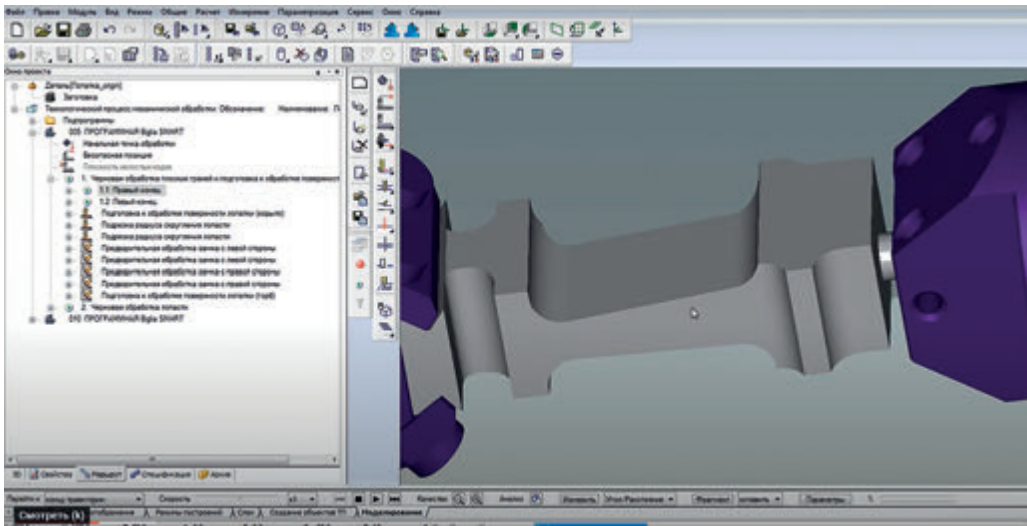


Рис. 5. Заготовка в приспособлении

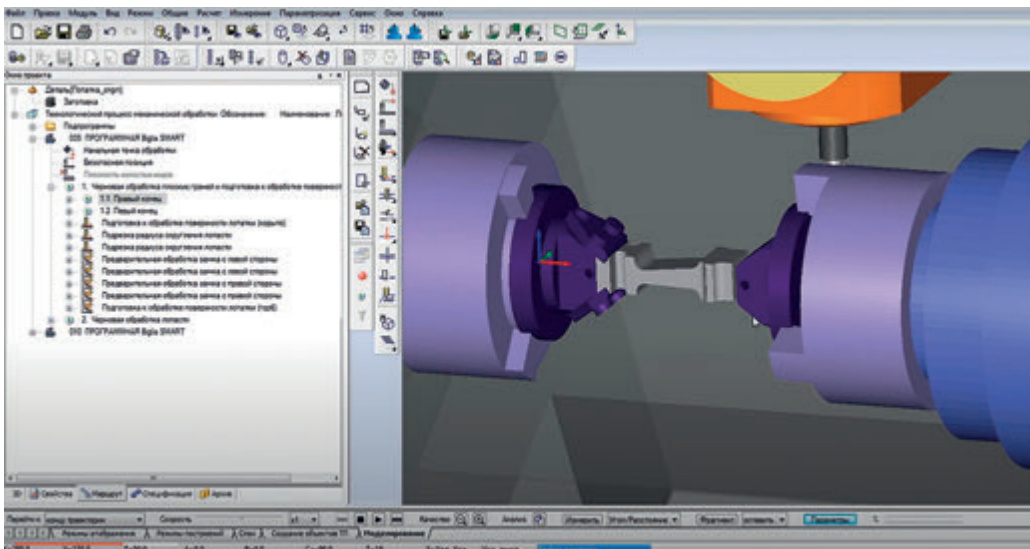


Рис. 6. Моделирование в контексте станка

При моделировании используется упрощенный вид токарно-фрезерного станка с двумя патронами (рис. 6).

На первом этапе идет плоская позиционная обработка с поворотом лопатки вдоль оси вращения шпинделей. Снимается большое коли-

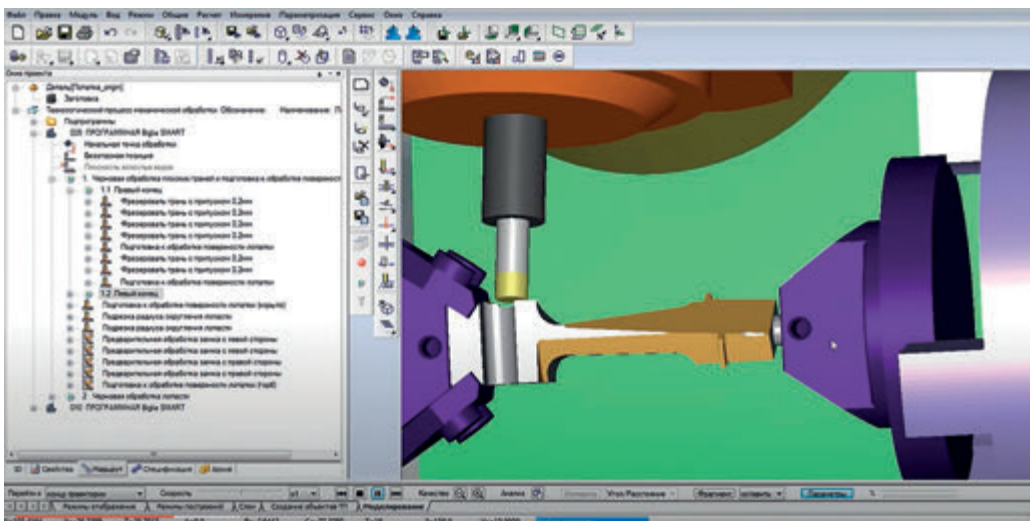
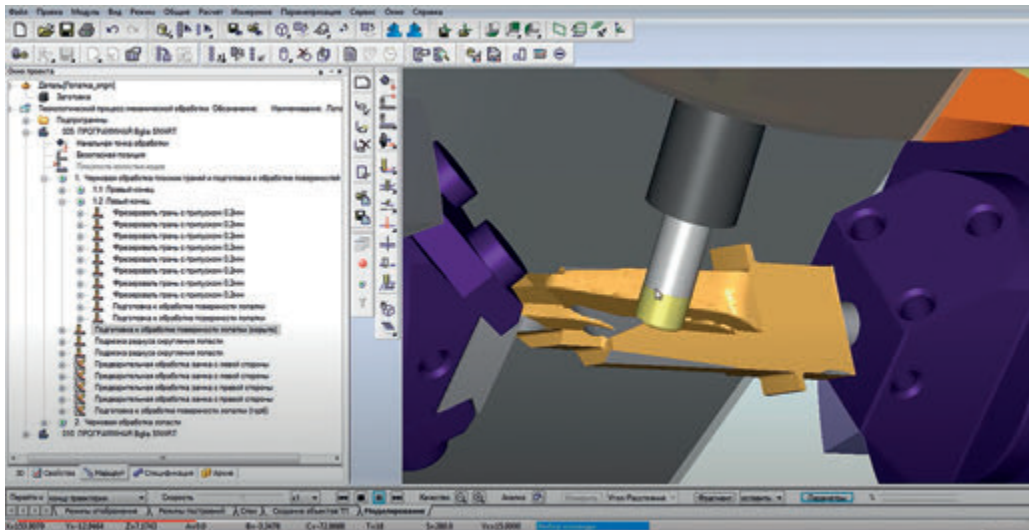


Рис. 7. Предварительная обработка замковой части

Рис. 8.
Черновая обработка «корыта»



чество материала для того, чтобы приблизиться к теоретическому профилю лопатки. На каждом переходе оставляется припуск под чистовую схему.

Прорисовывается замковая часть лопатки (правая и левая стороны), которая будет важна при чистовой обработке (рис. 7).

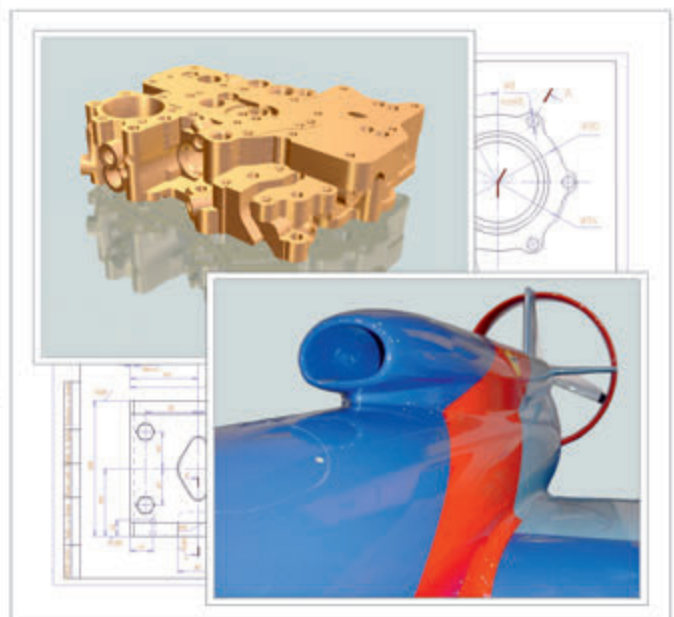
Далее следует обработка непосредственно самой поверхности лопатки в части «корыта». За несколько проходов снимается объем припуска, который задан в технологическом объекте маршрута обработки. Инструмент выполняет плоские перемещения с учетом припуска на номинальную поверхность лопатки (рис. 8).

Интегрированная **CAD/CAM/CAPP** система **ADEM** для автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства. Единый программный комплекс, в состав которого входят модули для: объемного и плоского моделирования; выпуска конструкторской и технологической документации; проектирования техпроцессов; программирования станков с ЧПУ (токарных, фрезерных, электроэрозионных, лазерных и др.); управления архивами и проектами; укрупненного трудового нормирования. Содержит средства для анализа технологичности проекта и систему управления справочными данными.

Группа компаний ADEM

107497, Москва:
ул. Иркутская, д. 11
тел: +(7) 495 462-0156,
+(7) 495 502-1341
e-mail: moscow@adem.ru

426003, Ижевск:
ул. Красноармейская, д. 69
тел: +(7) 3412 522-341,
+(7) 3412 522-433
e-mail: izhevsk@adem.ru



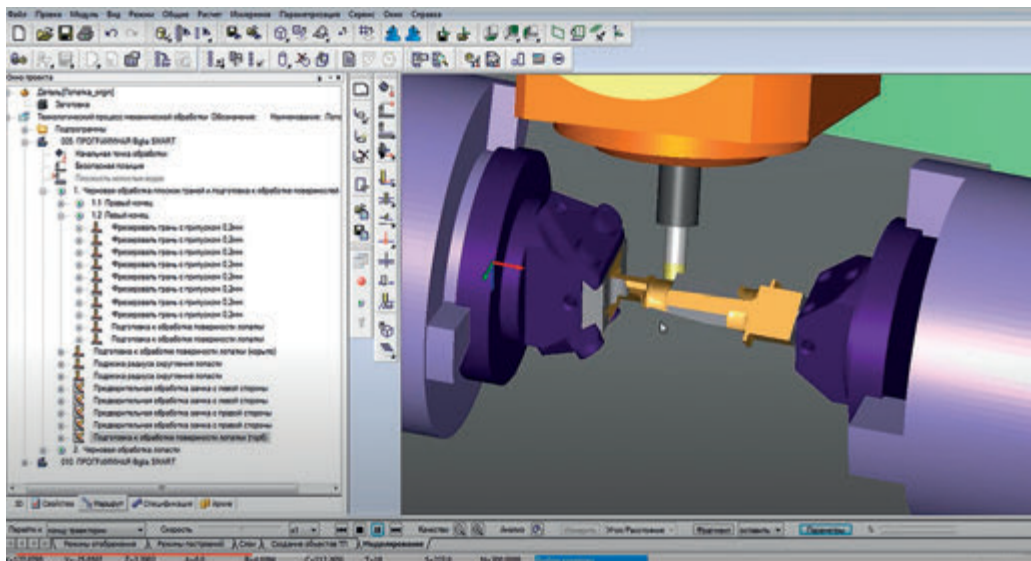


Рис. 9. Непрерывная 5-координатная обработка замковой части

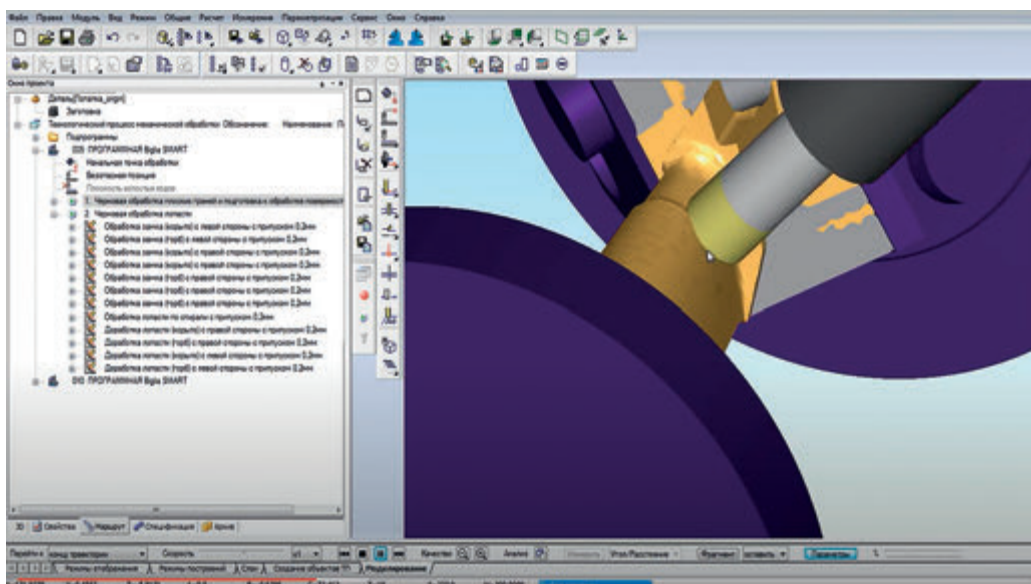


Рис. 10. Обработка «горба» лопатки

Следующая группа переходов – непрерывная 5-координатная обработка замковой части лопатки с левого и правого концов (рис. 9).

Далее происходит черновая 5-координатная обработка «горба» лопатки с припуском для последующего снятия материала начисто инструментом меньшего диаметра (рис. 10). Здесь же используется концевая фреза с радиусом скругления. Обработка ведется с углом опережения, чтобы избежать затирания материала центром фрезы, где скорость резания приближается к нулю. Инструмент «опрокидывается» вперед на заданный угол, чтобы избежать нежелательных перемещений, а обработка ведется передней кромкой инструмента.

Инструментом меньшего диаметра (сферическая фреза диаметром 5 мм) начерно обрабатывается часть замка лопатки (выбирается материал, кото-

рый остался на поверхностях перехода замковой части и лопасти, чтобы максимально ее разгрузить) (рис. 11). Ось инструмента перпендикулярна оси вращения лопатки. В областях соприкосновения поверхности сопряжения с замком происходит обработка боковой стенкой инструмента.

Сначала снимается материал со стороны вогнутой части, где его наибольшее количество. Затем со стороны выпуклой части, где материала осталось меньше.

Далее обрабатывается непосредственно сама лопасть по схеме «спираль» (рис. 12). Часто подобный способ используется для изготовления данного типа деталей по причине простоты его задания. В зависимости от профиля лопатки инструмент изменяет свое положение по оси. Лопатка, закрепленная в шпинделе и контршпинделе, вращается вокруг своей оси.

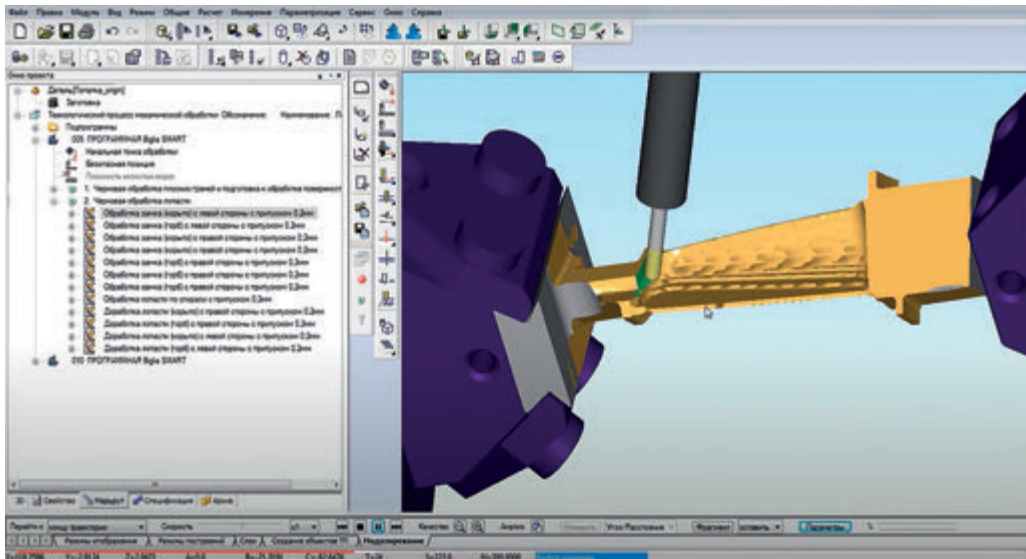


Рис. 11.
Фрезерование
поверхности пере-
хода

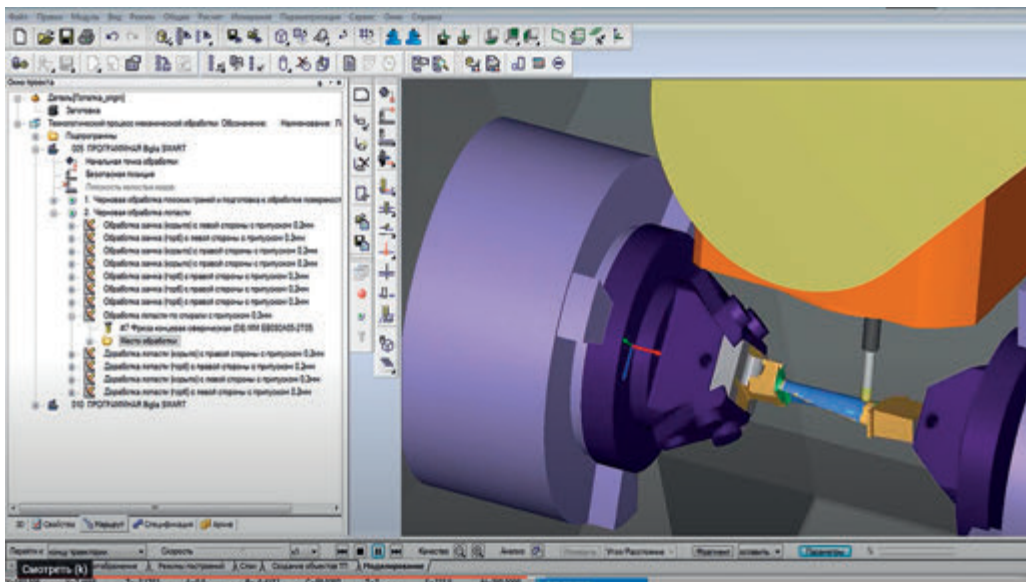


Рис. 12.
Обработка по спи-
рали

В данном примере используется обработка лопатки по схеме «спираль» лишь в качестве вспомогательного инструментария, так как эта схема имеет свои недостатки. Можно видеть, что при переходе с «корыта» на «горб» лопатки идет очень большой перегиб по углу. Соответственно в местах перегиба образуется ломаная поверхность. Даже если мы максимально аппроксимируем траекторию обработки и установим минимальный шаг, все равно, за счет изменения угла и малых линейных перемещений на радиусной части перехода одной поверхности в другую мы получим поверхность, требующую чистовой обработки.

На этом этапе ведется обработка сферическим инструментом (фреза диаметром 8 мм) с небольшим углом опережения. Лопатка обрабатывается по всей длине поверхности до областей сопряжения с замком.

Таким образом, в первой программной операции инструментом большого диаметра с высокой жесткостью был обеспечен предварительный съем материала, а на последующих переходах сферическими фрезами меньших диаметров была выполнена многокоординатная черновая обработка с заданным припуском на все указанные поверхности, с учетом приспособлений и деталей станка.

Результат работы может быть сохранен как «полуфабрикат» для моделирования полустойкой и чистовой обработки в последующих операциях.

Вторая операция также условно разделена на несколько групп переходов.

1. Чистовая обработка концевой скругленной фрезой областей сопряжения замковой части со стороны «горба» лопатки и непосредствен-

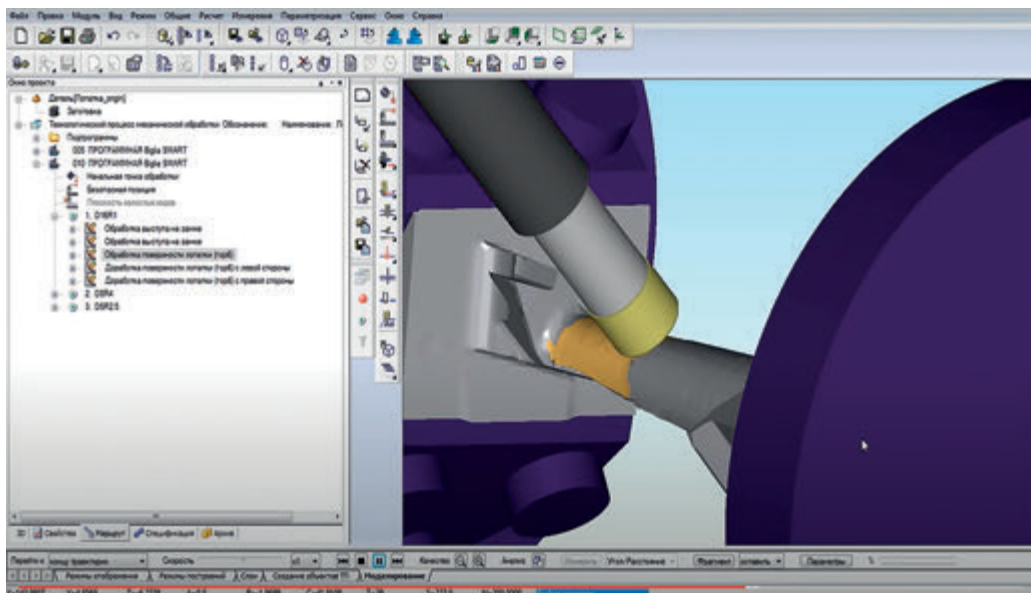


Рис. 13.
Чистовая обработка
выпуклой части

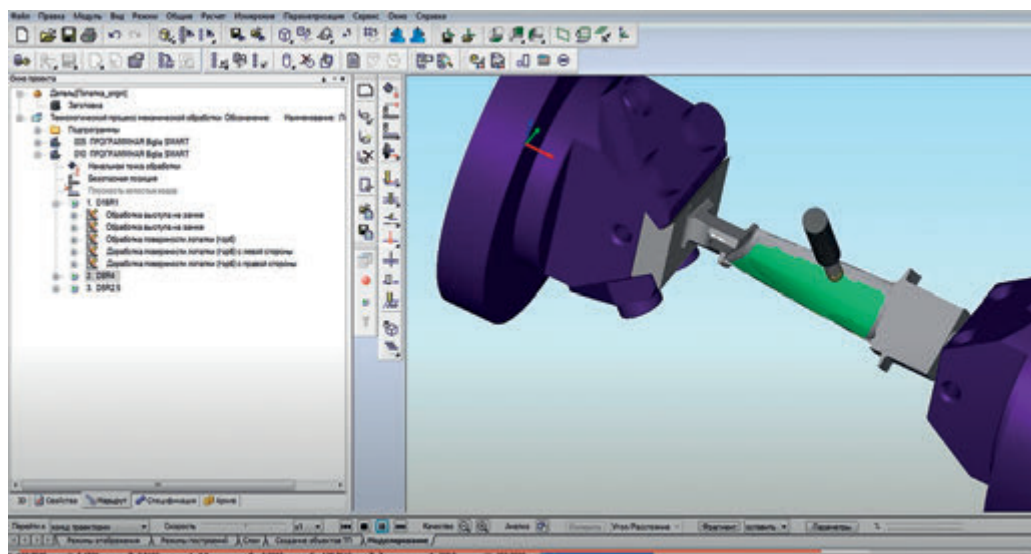


Рис. 14.
Чистовая обработка
вогнутой части

но выпуклой поверхности лопатки (рис. 13). Нужно отметить, что, в отличие от черновой обработки сферическим инструментом по схеме «спираль», на этих переходах мы используем концевую фрезу со скруглением, что позволяет снимать больший слой материала за проход. А разбивая обработку на отдельные зоны, мы добиваемся того, что на этих перемещениях инструмент может достигать более высоких скоростей за счет отсутствия необходимости обходить скругления на ребрах лопатки.

2. Обработка сферическим инструментом вогнутой части лопатки («корыто») продольными проходами вдоль оси лопатки (рис. 14). Такая схема позволяет использовать максимальные скорости, избегая поперечных перемещений малой длины со значительным перегибом

по углу, не дающих станку разогнаться до оптимальных параметров.

3. Обработка радиусных частей лопатки (радиуса перехода от выпуклой части к вогнутой и поверхностей между лопастью лопатки и замковой частью) (рис. 15). Доработка этих участков ведется продольными проходами сферическим инструментом, в первом случае, и поперечными переходами – во втором. А съем материала, который остался после предварительной обработки, идет на небольшие глубины.

Для реалистичного отображения моделирования обработки можно использовать тип отображения заготовки – «Металл».

Обработка замковой части представляет собой несложное позиционное фрезерование, где инструмент совершает плоские перемещения

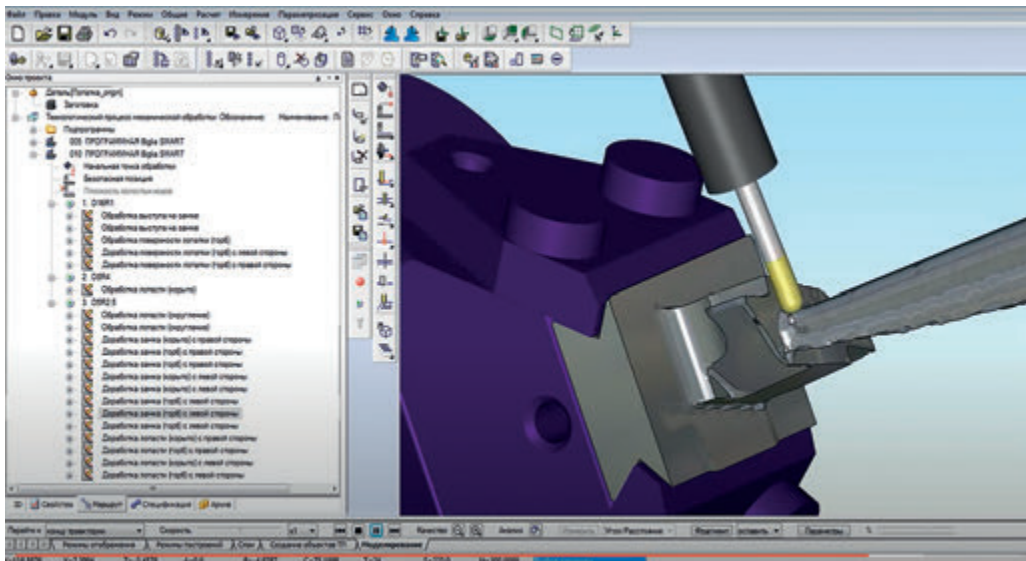


Рис. 15.
Чистовая обработка сопряжений

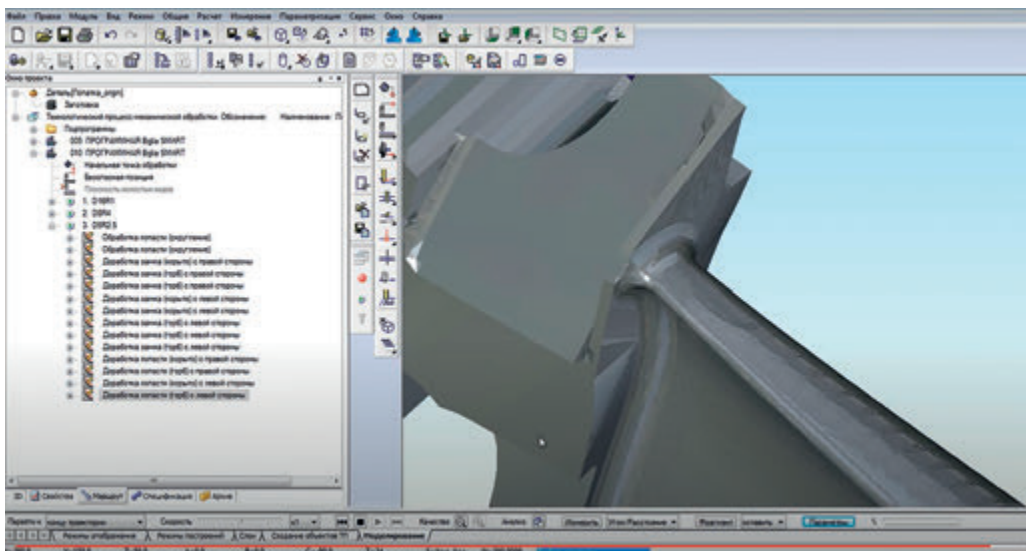


Рис. 16.
Реалистичное отображение результата обработки

с учетом дискретного поворота лопатки вокруг оси вращения.

Таким образом при обработке деталей с такой разнообразной геометрией выделяются отдельные зоны, на которых используются различные схемы фрезерования. На финальных чистовых проходах вогнутая часть обрабатывается сферическим инструментом поперечными перемещениями. Выгнутая часть – аналогичным способом, но концевой фрезой со скруглениями. Области перехода получают технологически радиусом инструмента, который соответствует номинальной геометрии лопатки.

После завершения моделирования перейдем в более детальный режим отображения полученного результата, который является твердотельной моделью (рис. 16). Его можно сравнить с номинальной моделью, полученной от конструктора, оценить качество поверхностей.

Таким образом, мы рассмотрели одну из наиболее сложных задач современного производства – фрезерную обработку лопаток на центрах с ЧПУ от чернового и предварительного фрезерования до получения чистовых перемещений. А предложенная методика задания фрезерных переходов используется на большом спектре моделей новейшего оборудования и отвечает самым высоким требованиям современных технологий.

САЛЬНИКОВ Алексей Михайлович –
эксперт CAD/CAM, НПК «Крона»

АВВАКУМОВ Андрей Александрович –
эксперт CAD/CAM, НПК «Крона»

КАРАБЧЕЕВ Константин Сергеевич –
ведущий специалист Группы компаний ADEM