

УДК 679.8

И.Н. Миков, Л.П. Осипова

СНИЖЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ВРЕДНЫХ ОТХОДОВ ПРИ РАСТРОВОМ ГРАВИРОВАНИИ ПЕЧАТНЫХ КЛИШЕ ИЗ КАМНЯ

Семинар № 18

В настоящее время клише выполняются фотомеханическими (травление) методами, с последующей гальванопластикой (осаждением на оригинал твердого слоя металла различной толщины). Этот способ связан с применением химических реагентов, несёт в себе опасность загрязнения окружающей среды. Несанкционированные выбросы их отрицательно сказываются на экологической ситуации. Утилизация отходов дорогостоящее мероприятие, требующее дополнительное оборудование.

Возможна замена травления механическим гравированием, которое не связано с использованием ядохимикатов. Кроме того, металлические и фотополимерные клише возможно заменить каменными, обладающими меньшей истираемостью, т.е. повышенной тиражестойкостью (тиражестойкость печатной формы - техническая характеристика печатной формы, соответствующая максимальному количеству качественных оттисков, которые могут быть с этой формы отпечатаны). Такие формы с углубленными элементами

изображения на плоской пластине возможно применять в тампопечати. Процесс печатания с таких форм предусматривает нанесение печатной краски с избытком на всю поверхность печатной формы, а затем удаление ее с пробельных элементов rakelом. Основные требования к поверхности формы - высокая чистота ее обработки (10-12 класс чистоты) и достаточная твердость формного материала.[1] Камень хорошо принимает полировку. Существующее камнеобрабатывающее оборудование позволяет изготавливать плитки различных размеров с малым отклонением от плоско-параллельности и высокой чистотой поверхности. Такие формы возможно многократно использовать перешлифовывая и реполировывая их.

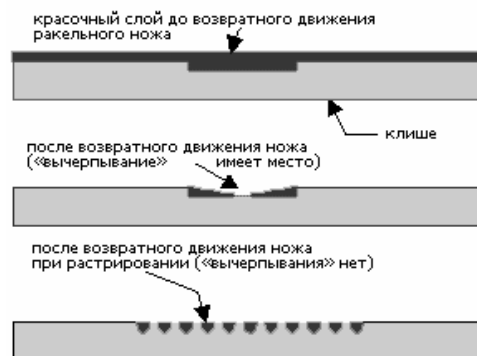
Рассмотрим более подробно принцип растрового факсимильного гравирования камня. Гравировка – это нанесение изображения реза-

Рис. 1. Методы и материалы для изготовления клише в тампонной печати.

нием (долблением, с удалением стружки). При



Рис. 2. Фотополимерная пластина с опорным растром и без него



факсимильном копировании изображений применяется метод растривания, который заключается в замене полутонового оригинала микроштриховым, состоящим из линейных или точечных элементов, при этом имеет место импульсное модулирование - импульс удара $J_{\text{видео}} = f_{\text{sign}} * Z(f, A)$, где f - частота импульсов удара, A - амплитуда импульсов удара. В результате, различные сочетания взаимных перемещений инструмента относительно поверхности заготовки обеспечивают получение штрихов и точек вдоль этой поверхности, заданной оптической плотности. [2]

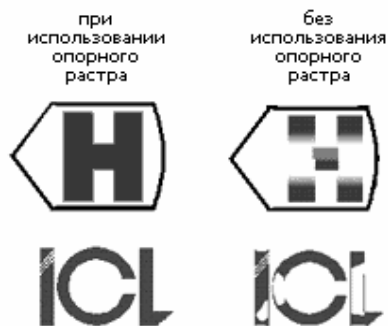
Изображение, имеющее распределённую по поверхности оптическую плотность $D_{\text{ор}}$ вводится посредством сканера в память компьютера (PC) и хранится в виде массива пикселей. Далее этот массив построчно передаётся через порт компьютера в память программируемого контроллера (ПК). В контроллере программно организован импульсный генератор с амплитудной $U_m = f(U_{\text{видео}})$ и частотной $T = f(U_{\text{видео}})$ модуляциями по видео сигналу $U_{\text{видео}}$, где U_m , T - амплитудное значение и период следования импульсов на выходе генератора. В этом случае в соответствии с программно - переналаживаемыми передаточными характеристиками производится формирование последовательности импульсов напряжения, амплитуда и частота которых пропорциональны пикселю $U_{\text{видео}}$. Импульсная последовательность поступает на катушку электромеханического преобразователя (ЭМП), который своим долбежным резцом наносит на полированную поверхность минерала лунки, площадью $S_{\text{пр}}$ внутри площади растрового элемента S_0 . Величина относительной площади пробельного элемента s при общей площади растрового элемента S_0 должна быть такой, чтобы обеспечить равенство $D_{\text{ор}} \approx D_{\text{в}}$ оптической плотности оригинала $D_{\text{ор}}$ и интегральной (визуальной) оптической плотности $D_{\text{в}}$, воспринимаемую потребителем. $D_{\text{в}}$ получается из сложения оптической плотности полированной поверхности заготовки $D_{\text{п}}$ и оптической плотности D_0 следов (точек пробельного

элемента) долбежного резца, оставляемых после разрушения материала заготовки.

Для улучшения внешнего вида отпечатанного изображения, придания ему большей зрительной выразительности и объёмности, целесообразно использовать метод квазибарельефа при гравировании клише. Это является дополнительным редактированием изображения в пакете PhotoShop – применение специальных фильтров. При этом возникает иллюзия объёмного изображения на плоскости за счёт добавления теней, бликов и выделения контура после применения фильтров Барельеф (Bas Relief) и Чеканка (Emboss) [3].

Замена способа и материала изготовления клише способствует снижению вреда, приносимого окружающей среде полиграфическим производством и улучшает их характеристики. Применение геоматериалов и синтетического камня могут повысить тиражестойкость. Механическое растровое гравирование не связано с токсичными веществами и химическими реагентами и даёт возможность повысить качество изображения, применением различных зрительных эффектов.

Растривание изображения на клише является важным условием для получения отпечатков высокого качества. Обычно используемые полимерные клише имеют достаточно мягкую поверхность. Ракельный нож движется вдоль клише под определенным давлением и поэтому погружается более глубоко в те участки изображения («плашки»), которые параллельны краю ножа, вследствие чего на печати появляются области с разной плотностью краски. Этот эффект называют «вычерпыванием». В большинстве случаев полностью избавиться от него не помогает ни



многократная запечатка, ни поворот изображения.

Для устранения этого эффекта используется повторное экспонирование клише сквозь растровую сетку (так называемый «опорный растр»). При этом «плашка» перестает быть открытой углубленной областью на клише и становится совокупностью небольших выступов («пиков»).

Рис. 3. Примеры улучшения качества печати при использовании опорного растра

Эти «пики» служат следующим целям [4]:

- поддерживают ракельный нож и исключают «вычерпывание»;
- снижают поверхностные напряжения в краске, благодаря чему красочный слой становится более ровным;
- сдерживают краску на «плашках», не позволяя ей размазываться по клише во время перемещения ракельного ножа;
- делают более ровным красочный слой на тампоне во время забора им краски с клише.

Использование компьютерного растрирования в процессе гравирования на факсимильных гравировальных станках автоматах позволяет получить на поверхности обрабатываемого материала систему лунок (пробельных элементов) при формировании полутонового изображения. А природный камень, обладающий малой истираемостью, позволяет повысить тиражестойкость такой печатной формы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сорокин Б.А. Тампонная печать. Что это? – М.: Флексо Плюс №2 (4), июнь 1998 г.
2. Миков И.Н., Морозов В.И., Павлов Ю.А. Технологические принципы факсимильного механического копирования. – М.: Автоматизация и современные технологии, №5, 2000. – с. 18–23.
3. Миков И.Н., Осипова Л.П., Павленко А.С. Технологическая подготовка художественного изображения для растрового гравирования.– Горный информационно-аналитический бюллетень, – М.: МГГУ, 2004 г., №4 с. 279-284.
4. Типография «Арес». Всё о технологии тампонной печати. Клише для тампонной печати. <http://www.tampo.ru/technology/components/plates/>.

Коротко об авторах

Миков И.Н. – доктор технических наук, ст. научный сотрудник, зав. лабораторией,
Осипова Л.П. – студентка,
кафедра «Технология художественной обработки материалов», Московский государственный горный университет.



УДК 679.8

А.С. Коньшин, Т.Б. Теплова, Е.И. Переселенкова

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЦЕССА ОГРАНКИ ЮВЕЛИРНОЙ ВСТАВКИ
ИЗ АЛМАЗА СО СФЕРИЧЕСКОЙ ГРАНЬЮ
НА СТАНОЧНОМ МОДУЛЕ С ЧПУ**

Семинар № 18

В настоящее время большое внимание уделяется становлению и развитию в России алмазно-бриллиантового комплекса, основанного на использовании отечественного алмазного сырья, для производства принципиально новых наукоёмких изделий микроэлектроники, медицины и ювелирных изделий.

Однако пока для отраслей, добывающих ювелирное сырье (в том числе и алмазы), характерна ярко выраженная экспортная ориентация. На сегодняшний день отечественные предприятия не в состоянии обеспечить переработку и реализацию большей части ассортимента ювелирного сырья на своей территории.

Перспектива завоевания российскими производителями ювелирных украшений внутреннего рынка России, рынка СНГ, международного рынка в условиях открытой экономики возможна при условии достижения международной конкурентоспособности. В условиях жесткой конкуренции с международными предприятиями актуальной становится задача повышения экономической эффективности алмазогранильных предприятий, а также выпуск эксклюзивной, не имеющей аналогов ювелирной продукции высокого качества.

По существующей технологии окончательную огранку алмазов в бриллианты осуществляют вручную на основании субъективного контроля размерных параметров, сходимости граней и качества обработки. При этом огранщик руководствуется своими органами чувств, и диагностика процесса обработки субъективно зависит от квалификации огранщика. Кроме того, обработка алмазов ведется только в мягком направлении.

Повышение экономической эффективности алмазогранильных предприятий возможно за счет повышения коэффициента выхода годного алмазного сырья. Поэтому на алмазном рынке

происходит постоянное расширение ассортимента новых видов фантазийных форм огранки. Процесс поиска нового продукта в данном случае ограничивается различными вариациями на основе бриллиантового, либо ступенчатого видов огранки. Увеличение массы бриллианта происходит за счет появления добавочных граней. Но рядом исследователей высказывается предположение, что размещение сферической грани на кристалле увеличив массу изделия, так же придаст новый эффектный вид бриллианту [1, 2]. Сам процесс огранки довольно трудоемкий и осложняется анизотропностью структуры алмаза, его мягкими и твердыми направлениями. Ручная огранка (при существующей технологии) возможна только в мягком направлении, что исключает возможность обработки сферических форм.

Одним из способов механической обработки твердоструктурных минералов и кристаллов является шлифование в режиме пластичности.

Новизна предлагаемых технологических решений [3] основана на модели пластической деформации кристалла в мезообъемах при шлифовании, которая состоит в следующем. При внешнем упорядоченном воздействии ритмичного поля в виде периодических касательных напряжений в упругой обрабатываемой системе (УОС) шлифовального станка динамическому воздействию со стороны режущих зерен вращающегося инструмента подвергается обрабатываемая поверхность (ОП) на площади макромасштабного уровня. При этом в период синхронного накопления усталости преимущественно к возвратно-поворотным модам деформации формируется однослойная ячеистая структура в виде множества трехмерных мезообъемов. Эти мезообъемы движутся в релаксационном режиме по схеме «сдвиг + материальный поворот». В конце периода синхронного накопления усталости исходная мо-

нокристаллическая структура преобразуется в поликристаллическую структуру одновременно срезаемую со всей указанной площади в виде множества единичных пластически деформированных частичек основного кристалла с формированием при этом бездефектной структуры приповерхностного слоя на обработанной поверхности.

В процессе такой обработки имеет место непрерывная генерация новых внутренних напряжений, т.к. деформируемое твердое тело является многоуровневой иерархической самоорганизующейся системой, в которой микро-, мезо- и макроуровни взаимосвязаны. Из экспериментов, проведенных на кристаллах природного алмаза, установлено, что в процессе его шлифования в соответствии с принятой моделью пластичного резания воздействие на кристалл происходит на всех уровнях. На микроуровне происходит воздействие каждым зерном режущего инструмента в каждую заданную точку обрабатываемой поверхности. На мезоуровне происходит раскачивание каждого мезообъема (меньше 0,05 мкм) при этом постепенно нарушается его сдвиговая устойчивость. Одновременный срыв поверхности (поликристаллической структуры) происходит с площади диаметром 20-25 мкм (макроуровень). Практическая реализация такой модели приводит к последовательному периодическому дискретному удалению одного слоя за другим в виде множества отдельных единичных мезообъемов в каждом таком слое с площади макромасштабного уровня. При этом каждый представительный мезообъем является микрочастицей основного материала и обладает всеми физико-механическими характеристиками, присущими исходному монокристаллическому материалу как макрообъекту.

Для формирования движущихся в релаксационном режиме мезообъемов, каждый из которых за время своей «жизни» непосредственно подвергается по крайней мере одноразовому внешнему импульсному воздействию со стороны вершины конкретного режущего зерна регулярного микрорельефа вращающейся производящей инструментальной поверхности (ПИП), необходимо обеспечить достаточную жесткость, высокую разрешающую способность и стабильность дискретных перемещений исполнительных органов УОС. Такая УОС реализована в шлифовальном станочном модуле [3] с интеллектуальной системой программ-

ного управления модели АН15ф4 созданном под руководством к.т.н. Коньшина А.С.

В соответствии с принятой моделью физической мезомеханики в результате применения диагностирования параметров огранки при автоматизации выбора рациональных режимов обработки [2] возможна обработка алмазов в твердом направлении. При этом получают обработанные поверхности высокого качества при отсутствии так называемого «алмазного фона», который не удастся удалить при шлифовании алмазов в мягком направлении. Это делает возможным применение алмазов, обработанных в твердом направлении, в качестве подложек для сверхбольших интегральных схем в микроэлектронике. Кроме того, при постоянном диагностировании параметров возможно осуществлять огранку алмазов в бриллианты вне зависимости от анизотропии твердости (т.е. в произвольном направлении) и при этом получить высокую точность и качество заданных выходных параметров. Это обстоятельство впервые позволяет создавать оригинальные виды огранки, например с выпуклыми эллипсоидообразными гранями. Кроме того, при постоянном диагностировании параметров возможно осуществлять огранку алмазов в бриллианты вне зависимости от твердого или мягкого направлений (т.е. в произвольном направлении) и при этом получить высокую точность и качество заданных выходных параметров. Это обстоятельство впервые позволяет создавать оригинальные виды огранки, например, с выпуклыми эллипсоидообразными гранями. По результатам исследований, проведенных к.т.н. Ю.А. Павловым, Д.В. Ахрамовым, А.С. Коньшиным, разработан принципиально новый, оптимальный по массе и оптическим характеристикам, вид огранки бриллианта (рис. 2).

По сравнению с существующими классическими параметрами, рассчитанными М.М. Толковским (рис. 1), новый вид огранки позволяет уменьшить съём массы алмаза и тем самым увеличить его массу, т.е. увеличить выход годной продукции на ограночных предприятиях в среднем на 12,5 % (в зависимости от формы и характеристик исходного сырья).

В настоящее время разработан технологический процесс для размерно-регулируемого шлифования [3] на станочном модуле АН15ф4, оснащённому системой ЧПУ, который позволяет обрабатывать алмазы в твердом направлении.

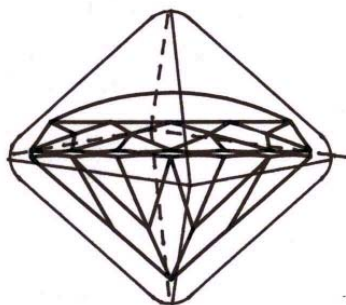


Рис. 3 Рис. 1

Ожидаемый экономический эффект по средним мировым ценам на бриллианты на 1997г. (в долл. США за карат) для бриллиантов группы дефектности IF-WS приведены в таблицах [4]. Кроме того, помимо увеличения массы бриллианта, цена за карат в каждой квалификационной группе зависит от массы бриллианта и при увеличении массы растет.

Обработка данной формы сопряжена с рядом трудностей, из-за которых невозможна обработка сферической грани на традиционных ручных, а также автоматических ограночных станках. Такими трудностями являются: во-первых, природная анизотропность алмаза, а в данном случае невозможно избежать обработки сферической грани кристалла в «твердом» направлении.

Во-вторых, при данном виде обработки на станочном модуле АН15Ф4 с ЧПУ, для обеспечения жесткости крепления обрабатываемого кристалла в оправку, необходимо отказаться от традиционного крепления на клей, как не обеспечивающего необходимую жесткость системы.

Новая технология производства содержит в себе множество нюансов связанных с принципиально новым решением традиционного способа облагораживания кристалла алмаза – огранки поверхности в виде сферы либо эллипсоида, несущем в себе как эстетические, так и экономические выгоды.

Первоочередной задачей на данный момент для воспроизведения огранки кристаллов алмаза со сферической гранью, на указанном станке, является разработка последовательного маршрута технологического процесса, с учетом того обстоятельства, что процесс съема при-

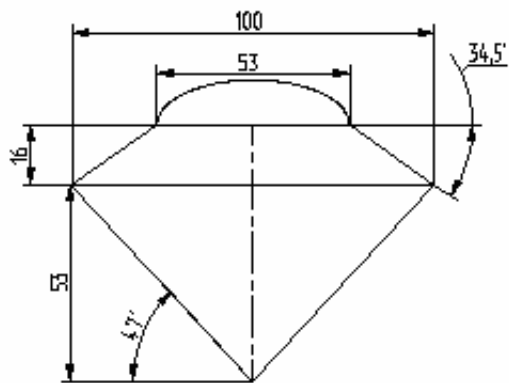


Рис. 2

пуска осуществляется в жесткой упругой обрабатывающей системе станка.

Модель технологического процесса заключается в следующем:

- При получении кристалла алмаза его необходимо классифицировать по форме, дефектности, цвету, в соответствии с «Классификацией алмазного сырья по системе SITY»[5]. Большое влияние оказывает то, обстоятельство что индивидуальная начальная форма алмаза определяет последующие операции. Также следует оговориться, что на данном этапе разработки технологии мы отталкиваемся от того, что сырье не осложнено дефектами.

- После классификации сырья кристалл проходит сканирование в программе Sarin Dia-Expert, которая учитывает номинальные параметры исходной формы кристалла и его массу.

- Следующий этап это разработка и расположение в цифровой модели кристалла формы будущего бриллианта. Форма бриллианта состоит из нечетного числа граней и одной сферической, разрабатывается фирмой ЗАО «АНКОН – ЕМ» в программах «Траектория 3D» и «Траектория 3D - эллипсоид». Параметры огранки точно рассчитываются, в соответствии с законами физики и геометрической оптики, специально для данного материала, в нашем случае алмаза.

- Затем полученный объект (кристалл с вписанной в него формой огранки) переносится в компьютерную программу SolidWorks (рис. 3), где осуществляется последующая обработка данных и макетирование модели технологического процесса обработки кристалла на станке. Виртуальный кристалл, перемещенный в программу SolidWorks, размещается от-

носителю виртуальных осей поворота кристалла и вектора перемещения шлифовального круга станка. С помощью программных функций программы SolidWorks находят действительные величины всех граней и сферической поверхности кристалла, припусков необходимых для обработки, а так же величину отскока осуществляемого обрабатывающим шлифовальным кругом.

- Следующим этапом является составление управляющей программы для системы ЧПУ станка, с учетом выявленных в результате указанного виртуального макетирования параметров.

- При обработке кристалла для начала необходимо выбрать базовую поверхность, которую в нашем случае будет выполнять рундист. Обточка рундиста (рис. 4) производится на обдирочном станке СОМ-21М разработанном смоленским заводом «Кристалл» и применяющемся на предприятиях. Поскольку мы не предполагаем базовой плоскости, то базирование кристалла для обточки осуществляется следующим образом. Виртуально намечаем ось в заготовке, которая должна быть центральной осью рундиста. Относительно этой оси виртуально оппозитно друг против друга располагаем поверхности вершин в заготовке кристалла. Детали крепления создаются на основе лазерной стереолитографии (для получения пластиковой модели) и точного литья, производят соответствующие цанговые державки из латуни и меди, для крепления кристалла при обработке рундиста.

- Обработка низа алмаза осуществляется после жесткого крепления кристалла на столе станка (рис. 5). Цанговая державка для крепления при последующей обработке граней ни-

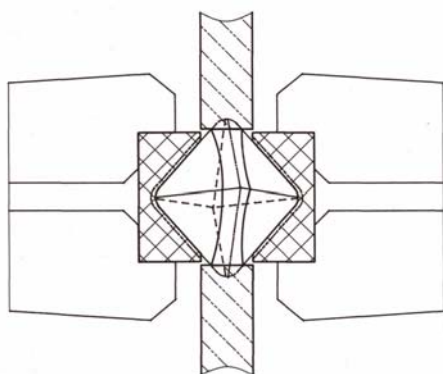


Рис. 4

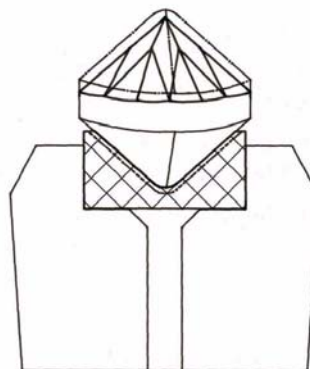


Рис. 5

за кристалла выполняется выше указанным способом. Форма ответной части, при этом, определяется из виртуальной модели исходного кристалла, а базой является рундист. Точность обработки обуславливается жесткостью системы, и точностью заданных параметров в системе ЧПУ. Контроль осуществляется с помощью стереоскопического бинокулярного микроскопа МБС-10.

- Огранка верха производится после переустановки кристалла и его обязательного жесткого крепления относительно рундиста в цанговой державке по форме соответствующей собранному низу полуфабриката (рис. 6). При этом цанговая державка производится аналогично указанному методу. Сначала верхняя часть кристалла подвергается грубой, заранее просчитанной, автоматической подшлифовке, так как для экономии времени обработки необходимо произвести сьем больших припусков. Затем формируется сферическая поверхность, состоящая из граней расположенных ярусами. Каждый ярус обрабатывается под своим углом, что и позволяет прийти к новому эллипсоидальному виду поверхности. После того как достигнута прозрачность поверхности, необходимо повернуть заготовку, для совпадения рисунка граней верха и низа, при заключительной огранке верха. Контроль так же осуществляется с помощью стереоскопического бинокулярного микроскопа МБС-10, который крепится на станке, и в режиме реального времени позволяет снимать показатели параметров обработки.

Выводы:

1. На основе применения размерно-регулируемого микрошлифования на станочных модулях с ЧПУ появилась возможность обрабатывать анизотропные кристаллы любой формы в автоматическом режиме в твердом

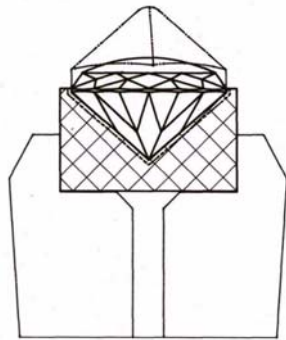


Рис. 6

направлении (обработка которых невозможно осуществить в ручную).

2. Применение методов лазерной стереолитографии, позволяет оперативно проектировать и изготавливать технологическую оснастку для жесткого базирования исходного кристалла с природной поверхностью для его обработки на станочном модуле с ЧПУ.

3. Появилась возможность проектировать новые формы ювелирных вставок из алмаза, для решения эстетических и экономических задач каждого кристалла в отдельности.

4. Возникла реальная возможность комплексной реализации новых компьютерных технологий в станочном производстве для его автоматизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ахрамов Д.В.* Выбор параметров нечетной огранки при проектировании ювелирных вставок, - Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук, - М.: МГГУ, 2004.
2. *Теплова Т.Б.* Обоснование рациональных режимов шлифования алмазов при их огранке. - Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук, - М.: МГГУ, 2002.
3. *Коньшин А.С., Сильченко О.Б., Сноу Б.Д.* «Способ микрошлифования твердоструктурных материалов и устройство для его реализации». Патент РФ №2165837 от 27.04.2001 г.
4. *Дронова Н.Д.* Оценка рыночной стоимости ювелирных изделий и драгоценных камней. - М.: Изд. «Дело», 2001, 296 с.
5. *Бочаров А.М., Симоненков В.А., Тимошенко В.Е.* Классификация алмазного сырья по системе SITY: Учебное пособие - М., 1991. - 40 с., фото.

Коротко об авторах

Коньшин А.С. – кандидат технических наук, доцент,
Переселенкова Е.И. – аспирантка,

кафедра «Технология художественной обработки материалов», Московский государственный горный университет.

Теплова Т.Б. – кандидат технических наук, докторант кафедры «Физика горных пород и процессов»,

© Ю.А. Павлов, М.В. Ахрамов,
Д.В. Ахрамов, 2005

УДК 679.8

Ю.А. Павлов, М.В. Ахрамов, Д.В. Ахрамов

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТНОЙ ОГРАНКИ В ЮВЕЛИРНЫХ ВСТАВКАХ, ОБРАБАТЫВАЕМЫХ НА СТАНОЧНОМ МОДУЛЕ С ЧПУ

Семинар № 18

Наша страна по своей территории – 17,07 млн. квадратных километров - занимает первое место в мире. На необъятных просторах России в виде полезных ископаемых

встречается практически вся таблица Менделеева [7]. В XX веке были открыты тысячи новых месторождений камнесамоцветного сырья, сотни месторождений введены в промышленную эксплуатацию, однако каждый год появляются сообщения о новых открытиях. По данным археологических раскопок, наши предки знали десятки разновидностей ювелирных камней-самоцветов, которые широко использовали в украшениях. По распространению камней-самоцветов можно судить о размахе международной торговли, которую вели наши предки. При этом украшения, изготовленные в нашей стране, находят далеко за её пределами, что говорит о том, как высоко ценились произведения отечественного ювелирного искусства.

Однако в настоящее время сложилась ситуация, когда отечественные ювелирные фирмы часто используют в своих изделиях продукцию гранильных предприятий юго-восточной Азии. Это связано прежде всего с низкой ценой ювелирных вставок низкого качества ручной огранки. Отечественным гранильным предприятиям для победы в конкурентной борьбе необходимо повышать качество изделий, так как в стоимости продукции мы вряд ли сможем конкурировать со странами Юго-Восточной Азии, использующих низкооплачиваемый, слабо квалифицированный ручной труд.

Таким образом, высокая конкуренция на отечественном и международном рынке обра-

ботанных ювелирных камней, используемых в качестве вставок в различных украшениях, вынуждает гранильные предприятия искать пути улучшения дизайна и снижения себестоимости выпускаемой продукции путём внедрения современных технологий.

Сегодня одной из наиболее совершенных технологий обработки твёрдых кристаллических материалов является адаптивная технология. Она заключается в том, что за счет самонастраивающегося компьютерного управления, реализующего модель элементарного акта пластической деформации одновременно микро- и мезо-масштабного уровня [1,2] в процессе дискретного размерно-регулируемого микро-резания твердоструктурных кристаллов (минералов) на основе информации об упругих деформациях сжатия в обрабатываемой системе, совмещаются шлифование и микрошлифование. Так же автоматически обеспечивается высокая размерная точность и оптические характеристики чистоты на сложно-профильных поверхностях при отсутствии дефектов в подповерхностном слое ($R_z = 0,03 - 0,05$ мкм).

Данная технология позволяет с одинаковой эффективностью производить обработку анизотропных материалов как в «твёрдом», так и в «мягком» направлениях.

Технология реализована в НИИ «Научный центр» на станочном модуле АН-15Ф4 с интеллектуальной системой ЧПУ [3].

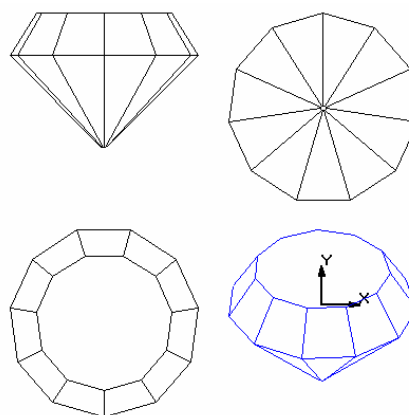


Рис. 1. Ювелирная вставка нечётной огранки

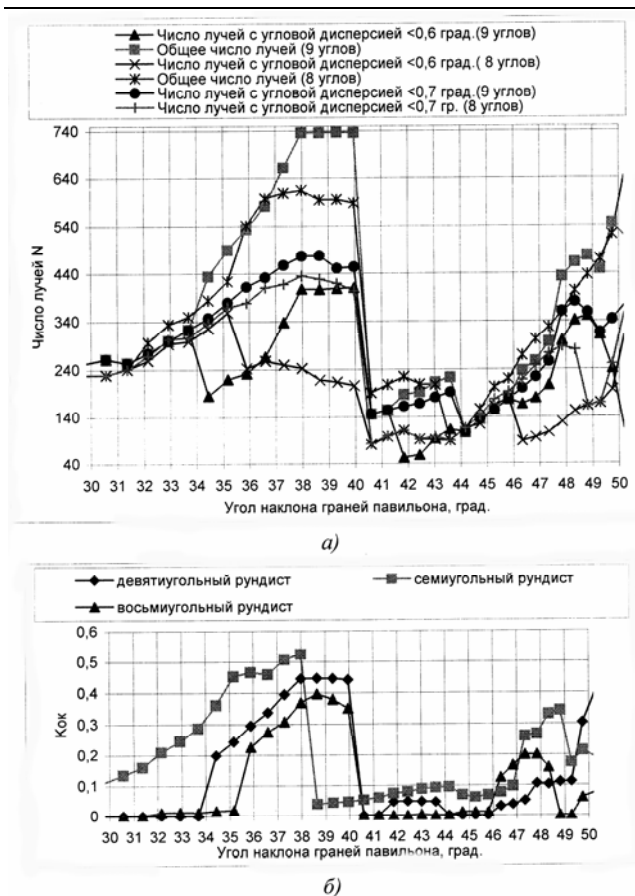


Рис. 2 Зависимость числа лучей от угла наклона граней павильона восьми- и девятиугольной ювелирной вставки из турмалина (а).

Зависимость коэффициента Кок от угла наклона граней павильона для числа углов рундиста 7,8 и 9 (б)

ственной оценки эстетических качеств огранки использован коэффициент оптического качества Кок, учитывающий «блеск» и «игру» ювелирной вставки. Проведённые исследования показали целесообразность использования нечётной огранки для ювелирных изделий из камней-самоцветов.

Эффективность применения нечётной огранки можно повысить путём использования групповой обработки нескольких изделий на одном станке с использованием многоместных кассет.

В НИИ «Научный центр» была разработана техническая документация и изготовлен опытный образец 15-ти местной кассеты для обработки изделий диаметром 3-5 мм, конструкция которой запатентована [3]. На основе имеющийся чертёжной документации в МГТУ «Станкин» разработан типоразмерный ряд кассет,

применяемых для огранки ювелирных камней.

Анализ технологического процесса показал необходимость применения многоместных кассет:

- с различными посадочными диаметрами под оправки для обработки кристаллов;
- с различным количеством мест обработки;

Применение многоместных кассет с различными посадочными диаметрами вызвано тем, что для обработки изделий заданных диапазонов размеров и форм используются цанги и оправки различных конструкций как покупные (например, выпускаемые смолен-

При использовании данного станка для производства изделий нечётной огранки, т.е. вставок с нечётным количеством основных граней (рис. 1), процесс производства занимает столько же времени, как и для классической огранки. При этом, по данным исследований, проведённых в МГТУ на кафедре «ТХОМ», для изделий из алмаза и турмалина – ахроита достигается увеличение «игры» до 20 % [5].

Для оценки влияния числа углов рундиста ювелирной вставки на её оптические характеристики, было осуществлено компьютерно-графическое моделирование с использованием программы «Траектория 3D». Результаты моделирования для восьми и девятиугольного рундиста представлены на рис. 2. Для количе-

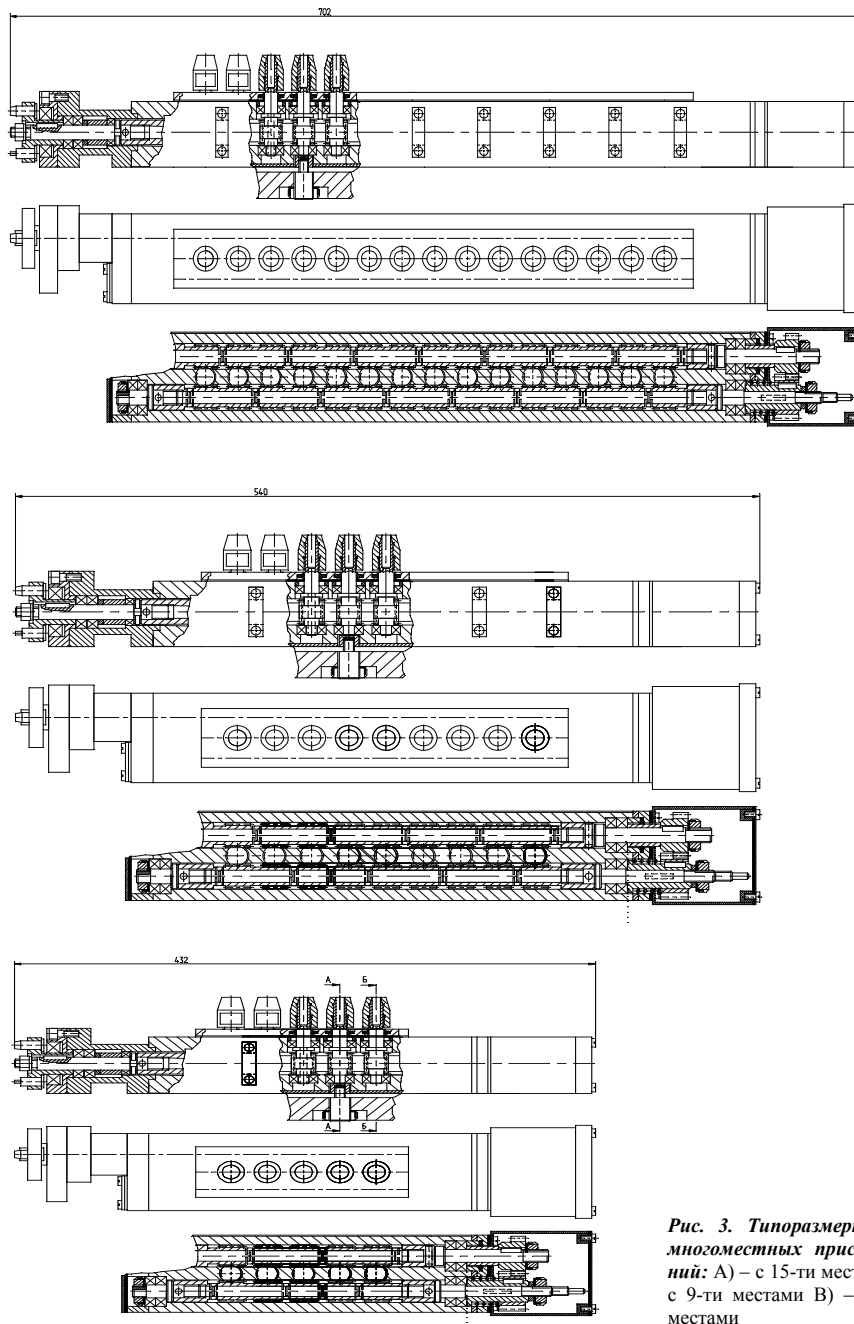
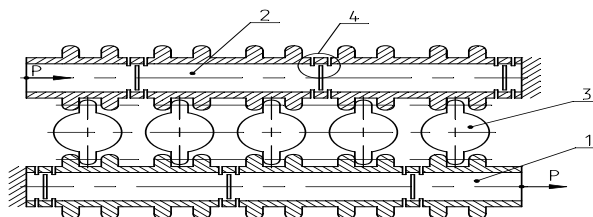


Рис. 3. Типоразмерный ряд многоместных приспособлений: А) – с 15-ти местами Б) – с 9-ти местами В) – с 5-тью местами

ским ПО «Кристалл»), так и собственного изготовления. В настоящее время для огранки алмазов используются цанги со следующими установочными диаметрами: 6, 8, 10 мм. Необходимость увеличения жёсткости упругой об-

рабатывающей системы вызвала целесообразность применения кассет с различным количеством мест обработки (т.к. при обработке крупных кристаллов возникают большие силы

Рис 4. Принципиальная схема действия привода многоместного приспособления: 1 - растянутый вал; 2 - сжатый вал; 3 - червячное колесо; 4 - профильные проточки



резания, и валы кассеты не обеспечивают требуемой жесткости)

Для решения поставленной задачи в системе параметрической графики T-Flex CAD 2D-3D была создана модель названного станочно-го приспособления [4].

При этом конструкция приспособления была усовершенствована. В частности, по технологическим требованиям во время обработки заготовка должна совершать малые колебательные движения с высокой частотой и точностью (периодически поворачиваться на 7 угловых минут). Для решения этой задачи в привод были включены пьезоэлементы. Это потребовало произвести перерасчет кинематических характеристик всего приспособления (который показал необходимость использования пьезоэлементов, которые изменяли бы свою толщину на 20 мкм), а также заново рассчитать размерные цепи изделия.

На основе разработанной параметрической модели была выполнена конструкторская документация для девяти вариантов изделия. Три из них, отличающихся между собой количест-

вом мест крепления цанг, представлены на рис. 3.

Особенность конструкции приспособления заключается в том, что за счёт равномерного растяжения вала 1 и сжатия вала 2 в каждой червячной передаче, используемой для осуществления периодических микро поворотов оправок, обеспечено беззорное соединение (рис. 4). Равномерная деформация валов осуществляется за счёт профильных проточек и пустотелости валов.

Внедрение предлагаемых усовершенствований интегрированной компьютерной технологии дизайна и производства ювелирных изделий из высокотвёрдых материалов позволит значительно расширить диапазон типоразмерного ряда обрабатываемых заготовок и широко внедрить нечётную огранку в изделия отечественной ювелирной промышленности, что, в конечном итоге, будет способствовать решению задачи увеличения валового внутреннего продукта нашей Родины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сильченко О.Б., Коньшин А.С. Моделирование процессов бездефектного резания алмазов на принципах физической мезомеханики. Труды Научно-практической конференции МГГУ "Неделя горняка - 99", с.6.
2. Панин А.Е. Теория физической мезомеханики материалов. Журнал "Физика", Известия ВУЗов, N1, 1998, с.7-34.
3. Патенты Российской Федерации: №№ 1309444, 1356359, 1695595, 1783696, 2019384, 2123627.
4. Рыбаков А.Н. и др. Система T-FLEX CAD М.: 1995-1998
5. Павлов Ю.А., Ахрамов Д.В. Оценка оптических свойств кристаллов с произвольной формой огранки ме-

тодом трехмерного компьютерно-графического моделирования / Горный информационно-аналитический бюллетень, N6. - М.: Изд-во МГГУ, 2001, с. 233-236.

6. Павлов Ю.А. Компьютерные системы проектирования и подготовки производства промышленных изделий из камня: Учебное пособие для студентов специальности 121200.В 3-х частях. Ч. 1: Научные основы, методы и средства разработки программных приложений. - М.: МГГУ, 2002.-108 с. Рис.44, табл.6, библи.28.

7. Рид П. Геммология. Пер. с англ. - М. Мир, 2003.- 336 с., ил.

Коротко об авторах

Павлов Ю.А. – кандидат технических наук, доцент,
Ахрамов Д.В. – кандидат технических наук,
Ахрамов М.В. – магистрант, МГТУ «Станкин»,
Московский государственный горный университет.

© Е.Г. Коржов, 2005

**КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
И ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ
СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ИЗ КАМНЯ**

В современном мире правят высокие технологии, а в сфере промышленного производства - в первую очередь. В области камнеобработки появились станки и различное оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ). Основным условием эффективности производства является оперативность реагирования на требования быстро меняющегося потребительского спроса на сортамент изделий, ограниченность изготавливаемых партий изделий, их качество и индивидуальность. Все эти задачи сейчас решают с помощью современных компьютерных методов проектирования, производства и управления технологическим оборудованием и процессами.

Основными задачами, которые могут быть решены программами компьютерной

3D-графики и комплексами автоматизированного проектирования и управления камнеобрабатывающим производством (САПР-АСТПП) являются:

1. создание графической модели и наглядного представления будущего изделия с возможностью просмотра с любого ракурса;
2. точное физическое моделирование визуальных характеристик (светотень, перспектива, отражение, шероховатость, блеск и др.);
3. проектирование сборки с возможностью оценки взаимосвязи любого элемента с другими деталями в сложном изделии;
4. удобное и быстрое изменение параметров проектируемого объекта при наличии сквозной параметризации или "Стека модификаторов" (дерева построения);
5. возможность создания новых элементов сложных изделий по фотоснимку или посредством объемного сканирования для формирования 3D-модели;
6. автоматическое создание стандартных чертежных проекций с 3D-моделью изделия и

вывод на бумагу конструкторской документации;

7. возможность автоматического формирования операционных, маршрутно-операционных и маршрутных технологических карт, карт контроля, ведомостей оснастки или материалов, титульных листов и других технологических документов, сопровождающих процесс производства изделий;

8. возможность автоматической подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ.

Перечислим основные этапы проектирования и управления производством:

1. разработка документации или переработка чертежей заказчика;
2. расцеховка, т.е. предварительная разработка технологического маршрута;
3. разработка технологического процесса в цехе, состоящего из набора операционных технологических процессов (ОТП);
4. планирование производства.

Основными факторами производственного процесса, которые влияют на изготовление изделий в заданный срок, становятся: гибкость переналадки технологического оборудования; используемые технологические процессы; вид и характеристики заготовки; уровень загрузки оборудования; инструментальная система; технологическая оснастка.

Рассмотрим более подробно задачу разработки документации. Этот этап проектирования включает подготовку технологической документации в виде компьютерных чертежей изделия и его твердотельных моделей. Важную роль при этом приобретает вопрос выбора подходящей системы компьютерного проектирования - САД-системы. Поскольку в данном случае рассматривается производство художественных изделий из камня, то и система проектирования должна иметь развитые дизайнерские возможности. Разработчикам будут интересны возможности моделирования сложных

рельефных поверхностей, например, при проектировании мемориальных плит с каменной резьбой, с различными шрифтовыми элементами, мозаичных изделий, деталей типа тел вращения сложной формы, скульптурных поверхностей.

В качестве дизайнерских пакетов моделирования изделий сложной формы могут использоваться как системы классического 3D-дизайна (Art-комплексы), так и общетехнические CAD-системы. Ниже приведены примеры наиболее популярных компьютерных систем.

Пакеты классического 3D дизайна (Art-комплексы):

- 3D Studio Max компании Discreet;
- Lightwave 3D компании Newtek;
- Maya от Alias Systems;
- Studio tools от Alias –Wavefront;
- Rhinoceros от Robert McNeel & Associates;
- ArtCam компании DELCAM.

Машиностроительные CAD/CAM системы:

- AutoCAD компании AutoDesk;
- ProEngineer;
- Solid Works;
- CATIA;
- Master Series;
- Unigraphics;
- Solid Designer;
- Solid Imaging;

и многие другие системы.

Отдельно нужно отметить следующие пакеты 3D дизайна:

“Rhinoceros” – это система промышленного дизайна и Nurbs-моделирования, рендеринга, анимации, создания мультимедиа проектов и анализа сложных поверхностей для дизайнеров и конструкторов широкого профиля. Кроме этого, “Rhinoceros” имеет широкие возможности импорта-экспорта графических моделей для связи с другими приложениями компьютерной графики.

В основном пакет “Rhinoceros” предназначен для промышленного моделирования. Он также хорошо подходит для художников и дизайнеров, которые могут визуализировать построенную 3D-модель непосредственно в самом редакторе или передать модель в другой пакет с более мощным редактором материалов и визуализатором. Готовую модель можно передать в любую техническую CAD/CAM систему, имеющую связь с устройством ЧПУ. К не-

достаткам можно отнести отсутствие “Стека модификаторов” или “дерева построения”, хранящего все произведенные изменения. Это делает невозможным редактирование каких-либо параметров геометрии после ее создания, что для области камнеобработки имеет большое значение. Достоинством пакета является то, что можно выполнять различное сложное скульптурное моделирование.

Пакет “3D Studio Max” является полным и законченным компьютерным инструментом для художников, дизайнеров-аниматоров и архитекторов. Имеет удобный и быстрый интерфейс. Обладает всеми методами 3D-моделирования: Nurbs, Polygon, Spline и некоторыми “специализированными”. Кроме этого, он позволяет подготавливать 3D-модели любой сложности для последующей реализации на различных технологических комплексах с ЧПУ, для чего имеет следующие форматы экспорта графики:

3D Studio (3DS), Adobe Illustrator (AI), ASC Scene Export (ASE), AutoCAD (DWG), AutoCAD (DXF), Shockwave 3D, FiLMBOX (FBX), Initial Graphics Exchange Standard (IGES), Lightscape Material (ATR), Lightscape Blocks (BLK), Lightscape Parameter (DF), Lightscape Layers (LAY), Lightscape View (VW), Lightscape Preparation File (LP), VRML97- virtual reality modeling language (WRL) , Stereolithography (STL).

Последний формат широко применяется в установках быстрого прототипирования, например в машинах, использующих жидкие полимеры и отвердители, различную металлизированную крошку, некоторые другие пластичные массы и смолы.

“3D Studio Max” очень удобен для создания различных архитектурно-строительных элементов и изделий, реализующихся в камне, пластике металле и любых других материалах. Из недостатков можно отметить отсутствие возможности проставления размеров, как в “Rhinoceros”, хотя это особо и не нужно, если объект потом все равно отправляется далее в технологический CAD/CAM.

Дополнительно к параметрическим объектам присутствует возможность установки различных “маркеров-ползунков” (Slider), которые позволяют в реальном времени изменять, назначать и управлять различными свойствами или группами свойств объекта. Устанавливать функциональные и логические связи, маркеры можно расположить в любой зоне рабочего эк-

рана и даже на самой модели и всегда иметь к ним оперативный доступ.

Имеется удобный режим построения 3D - образа по имеющимся проекциям или снимкам объекта. Эти снимки можно подгрузить непосредственно в видовые окна, и по ним создать необходимое количество сечений или других двумерных образов для построения 3D объекта.

Другой режим предусматривает построения 3D-объекта по его фото или рисунку, т.е. построение рельефной поверхности. Этот метод хорошо работает для создания барельефных плит-мозаик, надписей и других рельефных деталей. Такая технология может с успехом конкурировать с методом 3D-сканирования, например при восстановлении утерянных и ремонте существующих элементов каменной резьбы и многих других схожих деталей.

Такой метод работает в системе ArtCam компании DELCAM и является основным инструментом получения различных рельефных поверхностей для последующей обработки на станках с ЧПУ. Главным достоинством становится наличие особого визуализатора, который позволяет просчитать и посмотреть будущее изделие, учитывая особенности применяемого режущего инструмента. Система ArtCam в основном предназначена для подготовки производства фрезерованных и гравированных изделий.

На рис. 1 показан вид результирующего объекта-барельефа после процесса симуляции обработки на станке. В ArtCam можно загрузить любую созданную модель в другом при-

ложении, но только в формате 3da, 3ds, dxf и stl, что вполне достаточно. Для редактирования поверхностей есть довольно неплохой специализированный модуль “скульптурирования”.

Рассмотрим отечественную разработку – общепромышленную систему T-Flex. В нее входит мощный модуль 2D- и 3D- графики, с помощью которого можно решать не только задачи технического характера, но и дизайнерские проблемы. “T-Flex CAD 3D” построена на современном графическом ядре фирмы “Parasolid”, являющимся одним из современных.

Основным свойством системы является встроенная возможность сквозной параметризации, которая несколько похожа и где-то лучше, чем в пакете “3D Studio Max”. Она позволяет извлеченную из базы данных деталь или конструкцию быстро привести в соответствие с новыми размерами и соотношениями, не перестраивая всю модель заново.

Этот метод позволяет создавать и хранить базу наиболее часто используемых типов конструкций или объектов и при надобности всегда получать похожие образцы практически моментально, тем самым, сокращая время на проектирование и производство готовой продукции.

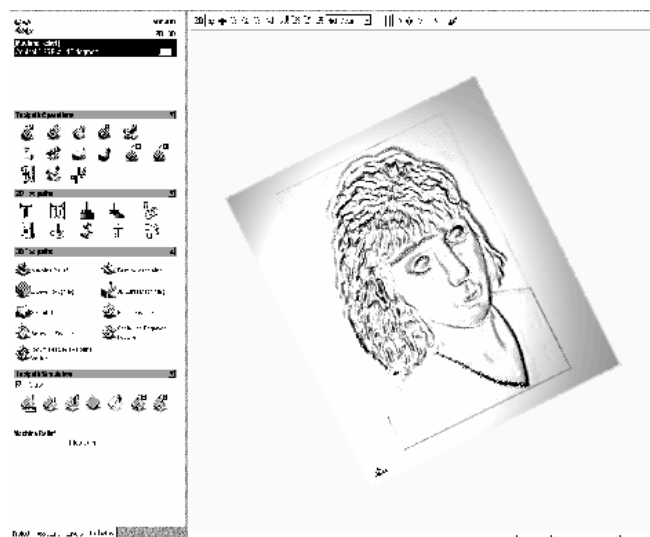
Пакет “T-Flex CAD 3D” хорошо подходит для построения тел вращения: это могут быть различные колонны, вазы, фонтаны, чаши, бассейны и другие изделия.

Очень легко получать детали с различными профилями: плинтусы ступени и подоконники. Можно выполнять проектирование различных конструктивных элементов современного ин-

терьера на основе уже несколько готовых параметризованных объектов. Еще одним неоспоримым по удобству инструментом является возможность создания эквидистантных кривых. Это особенно удобно при подготовке, например чертежа микромозаичных изделий, когда надо создавать элементы мозаики с повторяющимися контурами, или для создания траекторий инструмента, когда ведется обработка деталей на станке с ЧПУ.

Модуль в T-Flex/ЧПУ позволяет назначать различные виды

Рис. 1. Пример создания художественного барельефа в пакете ArtCam



обработки поверхностей готовой модели по различным траекториям: 3D-, 4D- и 5D- обработки для CAD 3D версии и 2D-, 2.5D- обработки для CAD 2D версии.

Модуль ЧПУ в T-Flex 3D полностью интегрируется, что очень удобно для назначения поверхностей обработки и траекторий прямо в окне проекции. Далее нужно выбрать инструмент для обработки или создать свой из имеющихся предустановок, назначить тип обработки и затем сгенерировать управляющую программу и запустить имитацию движения инструмента. После генерации управляющей программы ее текст и файл с настройками инструмента нужно подгрузить в специализированный модуль T-Flex NC-

Tracer 3D (5D), который дает возможность технологю-программисту:

- наблюдать процесс изготовления детали в соответствии с реальными производственными условиями;
- проконтролировать правильность отработки созданной управляющей программы;
- вносить необходимые изменения в управляющую программу и сохранять эти изменения в программе;
- определить правильность заданных точек подвода/отвода режущего инструмента;
- осуществлять выбор заготовки из предлагаемых трёх вариантов: заготовка в виде параллелепипеда, в цилиндрическом виде, в виде заготовки, предварительно спроектированной в «T-Flex CAD»;

- визуально проконтролировать форму обработанной поверхности; произвести компьютерное сравнение обработанной детали с созданной идеальной 3D моделью в «T-Flex CAD», а также в других системах.

Программа «T-Flex NC-Tracer 3D (5D)» обеспечивает:

- имитацию различных типов 2.5D-, 3D- и 5D- обработки;
- динамическое вращение, панорамирование и увеличение изображения модели обрабатываемой детали;
- чтение файлов управляющих программ в кодах ЧПУ по стандарту ISO6983/DIN66025(24);
- задание твердотельных моделей заготовки, крепёжных приспособлений и оснастки в виде прямоугольного бруска, цилиндра и VRML-модели любой формы;
- позиционирование, перенос и поворот твердотельных моделей для точной имитации обработки;

Несомненно то, что более удобный и адаптированный вариант имитации обработки имеет пакет «ArtCam», но, по сравнению с «ArtCam», комплекс T-Flex обладает модулем технологической подготовки производства - T-Flex / ТехноПро. Поэтому применение комплекса T-Flex становится более эффективным.

На рис. 2 приведен пример сформированного технологического процесса в системе T-Flex / ТехноПро.

На рис. 2 представлен пример разработки технологического процесса изготовления рельефной поверхности детали из камня в системе «T-Flex / ТехноПро».

На рисунке видно иерархическое дерево технологического процесса. В данном примере рассмотрена деталь, но это может быть и сборка. Технологический процесс состоит из операций, а операции из переходов. Каждый пункт дерева технологического процесса содержит всю необходимую информацию о данной операции. Информация может быть получена уже из имеющейся базы данных или введена вручную, тем самым пополнив технологическую библиотеку.

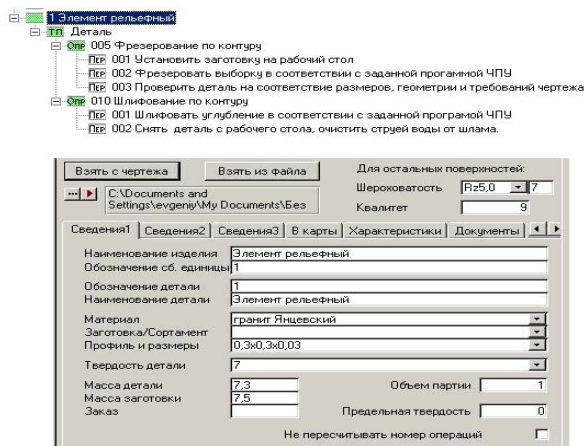


Рис. 2

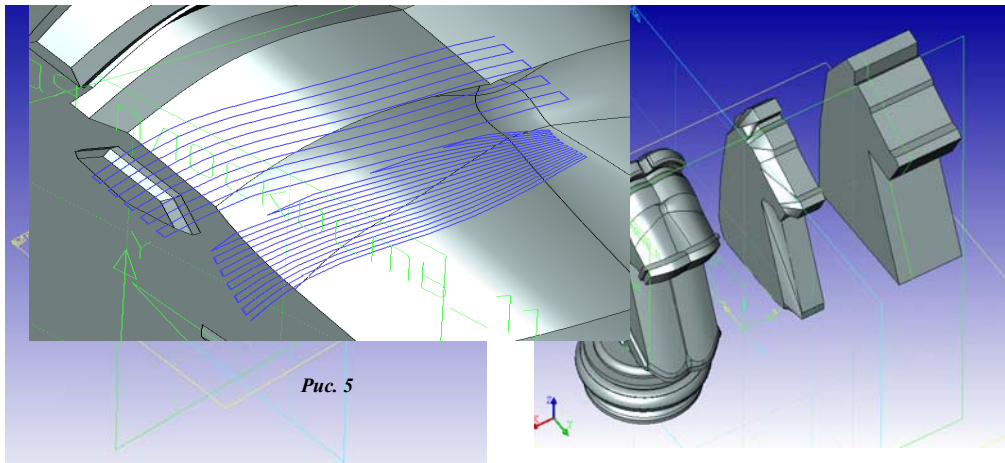


Рис. 3. Формирование грубой формы заготовки обрабатываемой на станке с ЧПУ

Рис. 4. Последовательность этапов формирования изделия сложной формы за несколько проходов инструмента. На каждом этапе происходит последовательное уточнение формы

Программа “ТехноПро” позволяет в любой момент открыть существующий технологический процесс, внести корректировки и произвести перерасчет основного и вспомогательные времени, режимных параметров, быстро получить новый процесс на основе уже существующего, сформировать документацию.

Рассмотрим основные шаги создания тела сложной геометрии в комплексе “T-Flex CAD 3D” и подготовки управляющей программы для реализации объекта на станках с ЧПУ.

В качестве примера выберем шахматную фигуру “Конь”, выполненную в стиле “Хай-Тек”. Фигура состоит из двух деталей, из которых впоследствии она будет собрана.

Первый элемент – это основание, типичное тело вращения с несложным профилем. Эта деталь может быть обработана практически на любом токарном станке, предназначенном для изготовления каменных изделий.

Вторая деталь – непосредственно само тело “Коня”. Для ее изготовления на станках с ЧПУ применяется пошаговый метод уточнения геометрии при многопроходной фрезерной обработке. Он оправдывает себя, если объект довольно сложный, так как облегчает формирование изготавливаемых кривых и поверхностей.

Сначала формируется начальная заготовка для изготавливаемого объекта. За основу прием каменный брусок подходящей длины ширины и толщины.

Для изготовления грубой заготовки, формируются соответствующие эквидистантные поверхности и указывается вид обработки, за-

тем программа анализирует обрабатываемые поверхности и формируем текст управляющей программы для этой стадии обработки. На рис. 3 показана первая грубая форма для будущего объекта после первой стадии обработки.

На следующем этапе уточняется геометрия и опять указываются поверхности и траектории для обработки, генерируется текст управляющей программы для этой операции. Подобным образом выполняются остальные шаги до полного воплощения, конечной формы детали.

На рис. 5 показан пример формирования модулем “T-Flex/ЧПУ” траекторий движения инструмента для выбранной поверхности.

Во время редактирования и уточнения геометрии рекомендуется не менять систем координат и положения объекта, иначе это приведет к неправильной обработки заготовки на оборудовании с ЧПУ. Как только определены все кривые и поверхности для обработки, можно провести тестовую отладку управляющей программы с отображением результата технологического процесса в “T-Flex NC-Tracer 3D” и при необходимости объединить все тексты сформированных стадий обработки в одну управляющую программу.

Во время моделирования необходимо четко представлять конечный результат и хорошо владеть инструментарием программы “T-Flex CAD 3D”.

Выводы и рекомендации

1. Сегодня существует много различных универсальных и специализированных компь-

ютерных комплексов для проектирования и подготовки производства. Однако специально для сферы камнеобработки таких сложных и универсальных комплексов нет. Отчасти это объясняется наличием общетехнических комплексов и возможности передачи в них практически всех задач, а при наличии мощных специализированных программ 3D-моделирования можно создать модель сколь угодно сложного объемного тела. Необходимо ориентироваться на возможности технологического оборудования для изготовления изделия как раз тут и появляется необходимость оптимизатора геометрии под нужды оборудования, которого нет в составе пакета 3D-моделирования. Поэтому для решения сложных задач уже недостаточно какого либо одного из пакетов 3D-дизайна и технической САД-системы. На этом этапе нужно интегрировать возможности дизайнерских и машиностроительных пакетов. В результате этой интеграции получается необходимый набор программных пакетов для дости-

жения поставленной цели. Условно его можно назвать ART/CAD/CAM – комплекс.

2. Для выполнения в камне скульптур, барельефов и других объектов сложной формы – их проектирование и построение компьютерной модели будет удобнее проводить в пакете 3D-дизайна из приведенного списка, а далее передать готовую модель в пакет с интегрированным ЧПУ- модулем, например SolidWorks, MasterSeries, Unigraphics или в другой подобный. Однако стоимость пакетов компьютерной графики высокого класса (SolidWorks, MasterSeries, Unigraphics и подобных) достигает десятков тысяч долларов.

3. Для отечественного производства хорошей альтернативой является описанный выше комплекс программ “T-Flex”, в котором можно реализовать создание различных изделий из камня, назначить варианты последующей обработки заготовок. “T-Flex” обладает набором постпроцессоров для наиболее распространенных типов оборудования с ЧПУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. T-Flex CAD/Трехмерное моделирование. Руководство пользователя. - М.: АО “Топ Системы”, 2003.
2. Элен Финкельштейн. AutoCAD 2002/Библия пользователя. Компьютерное издательство “Диалектика” - Москва, Санкт-Петербург, Киев, 2003.
3. Погорелов В.И. AutoCAD: трехмерное моделирование и дизайн. - СПб.: БХВ - Петербург, 2003.
4. Ted Boardman 3ds max 5. - 201 West 103rd Street, Indianapolis, Indiana 46290. An Imprint of Pearson Education Boston, Indianapolis, London, Munich, New York, San Francisco.
5. Kim Lee Inside 3D Studio Max ® 4 - 201 West 103rd Street, Indianapolis, Indiana 46290 An Imprint of Pearson Education.

Коротко об авторах

Коржов Е.Г. – Московский государственный горный университет.