© Е.Н. Гусенков, Д.Ш. Алимханова,
И.Н. Миков, Л.П. Осипова,
2006

УДК 622.02:621.9.01

Е.Н. Гусенков, Д.Ш. Алимханова, И.Н. Миков,
Л.П. Осипова

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФРАГМЕНТОВ МОЗАИЧНЫХ ПАННО ПОСРЕДСТВОМ ГИДРОАБРАЗИВНЫХ СТАНКОВ С CNC

Семинар № 23

Области применения *CNC* станков при автоматизированной художественной обработке твёрдого материала предоставлены на рис. 1. Использование долбёжных *CNC* станков позволяет сканерно-растровым и векторно-растровым формообразованиями получать точечное полутоновое гравированное изображение на плоской поверхности материала. В случае применения прецизионных строгальных *CNC* станков создаётся микроштриховое полутоновое гравированное художественное изображение. Использование фрезерных *CNC* станков позволяет гравированием получать фрагменты мозаики, барельефные, горельефные и скульптурные художественные изделия.

Кроме того, для изготовления фрагментов мозаичных панно используются гидрорезные и гидроабразивные *CNC* станки. Для автоматизации сборки панно из фрагментов могут быть использованы роботы, однако возможности их использования выходят за рамки этой статьи.

На сегодняшний день к технологии гидроабразивной резки и обработки твер-

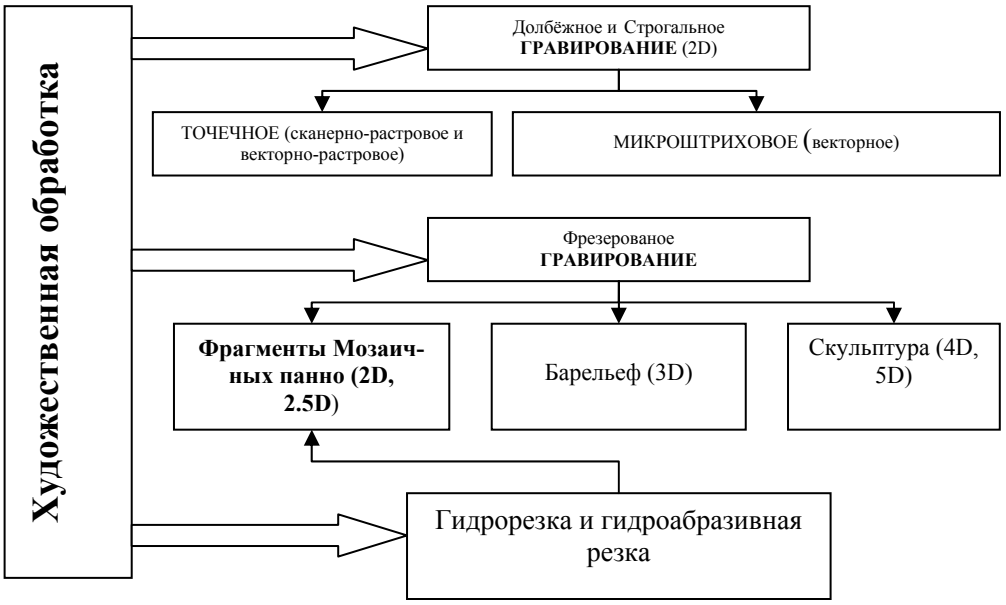

Рис. 1. CNC станки в художественной обработке материала

дых материалов, и в первую очередь натурального камня и керамики, проявляют интерес строители, архитекторы, дизайнеры, реставраторы всего мира, потому что его возможности фантастически безграничны. Для этой технологии не существует графической линии, по которой нельзя было бы выполнить разрез, что особенно ценно для художественных работ с камнем, керамикой или стеклом, когда выполняется сложный мозаичный пол, панно, витраж, том числе для производства фрагментов мозаики. Проведённый научно-исследовательский анализ устанавливает, что гидроабразивная резка – это самый быстрорастущий сегмент станкостроительной промышленности,

Способ гидроабразивной резки материалов оказался ключом к решению многих технологических проблем при резке камня, в том числе при сложном фигурном раскрое плит из природного камня, в том числе гранита и мрамора. Это, в значительной степени, освобождает фантазию и расширяет возможности художников-дизайнеров и архитекторов.

Камень - сложный для обработки материал, требует от обработчика больших знаний, опыта, предельной аккуратности и внимания. Однако даже наличие всех перечисленных качеств не избавляет процесс от издержек, связанных с природной структурой камня, его строением. А это, в свою очередь, ведет к повышению расхода материала и, соответственно, к повышению стоимости изделия.

Технология резки камня водой позволяет с высокой точностью воспроизводить контуры, задуманные художником [1], [2]. Наличие координатного технологического стола и соответствующего программного обеспечения позволяют создавать композиции из различных материалов (например, флорентийскую мозаику), и сложные элементы контуров. При этом, одних из них будут с высокой степенью точности совмещаться с такими же сложными по форме другими контурами. Причем сделать это можно как с монтажным зазором (или как его еще называют "швом"), так и без него. Ценность подобной автоматизации заключается еще и в том, что информация об изделии (об его профиле) в виде управляющей программы (и исходного чертежа) может храниться сколь угодно долго. В случае разрушения изделия, оно может быть восстановлено. Кроме того, это позволяет тиражировать изделие. И быстро переходить к выпуску, как новых изделий путем модификации существующего каталога, так и изделий уже производившихся, но новых требуемых размеров.

Области применения гидрорезки камня:

- резка природного камня; в том числе мрамора; гранита;
- резка керамогранита (керамического гранита);

На оборудовании для гидроабразивной резки возможно применение программного обеспечения для оптимального (в смысле минимизации отходов) раскроя листа, что позволяет в некоторых случаях значительно сократить количество отходов.

И, наконец, отметим несколько новых аспектов, ставших возможными с применением оборудования для гидроабразивной резки камня:

Стало возможным получение очень тонких (до 0,3 мм) элементов конструкций из камня. Связано это с тем, что усилия резания при обработке и резке камня абразивно-жидкостными струями очень малы. Это же обстоятельство позволяет значительно упростить базирование заготовки на технологическом столе.

Во-вторых, процесс резания жидкостными и абразивно-жидкостными струями протекает практически без нагрева (температура в зоне резания не превышает 90 ^{o}C), что имеет большое значения для камня, как материала с низкой теплопроводностью.

В-третьих. Абразивно-жидкостная струя - это универсальный инструмент. Незаменимо применение гидроабразивной

технологии для резки пожароопасных и взрывоопасных материалов; материалов, выделяющих при применении термических, в частности лазерных, технологий ядовитые компоненты; материалов, имеющих неоднородную структуру, и разрушающихся, пусть частично, при нагревании. Это и стекло, и цветные металлы, и черные металлы большой толщины, и композитные материалы, и материалы из сложных органических соединений.

В-четвертых. Абразивно-жидкостная струя - это значительно более экономичный, в сравнении с традиционным режущим инструментом, элемент технологического процесса. Например, при обработке полимерных композиционных материалов, типа углепластиков, концевая фреза из твердого сплава имеет ресурс немногим более трех часов, а водное сопло для обработки этого же материала работает в несколько раз дольше.

В-пятых. Процесс протекает без выделения пыли, так как ширина реза составляет от 0.6 до 1.2 мм, и продукты разрушения выносятся из зоны обработки отработавшим потоком жидкости. Отходы при этом минимальны.

И - наконец. Высоконапорной абразивно-жидкостной струей можно производить не только сквозную резку материалов, но и выборку ограниченных определенным контуром массивов камня. Другими словами - абразивно-жидкостная струя может быть инструментом скульптора.

Принцип гидроабразивной резки заключается в способе разделения твердых материалов с помощью водяной струи высокого давления. Вода, сжатая первым основным компонентом системы, насосом – мультипликатором, до давления более 4000 атм, проходит через водяное сопло, образующее струю диаметром 0,25 мм, которая попадает в т.н. смесительную камеру. В смесительной камере струя воды «подсасывает» абразив (например, кварцевый песок с частицами размером около 0,4 мм) и далее проходит через второе, твердосплавное сопло с внутренним диаметром 1 мм. Из этого сопла струя воды с абразивом выходит со скоростью около 1200 м/с и направляется на поверхность разрезаемого материала. После резки этого материала остаточная энергия струи гасится специальной водяной ловушкой.

Способ отличает технологическая гибкость и универсальность, создано и эксплуатируется оборудование трёхмерной резки с перемещением режущей головки по пяти (восьми) осям.

Основные типы, имеющихся на рынке стационарных УГАР, приведены на рис. 2.

В НИАТ и МГГУ на гидроабразивных *CNC* станках изготавливаются плоские фрагменты флорентийской мозаики из камня. В табл. 1 приведены основные Технические данные УГАР НИАТ, на рис. 3 приведён пример контурной обработки материала на гидрорезном станке УГАР - 1.

Рис. 2. Основные конструкции стационарных гидрорезных станков

Рис. 4. Фрагмент мозаики, полученный на гидроабразивном станке

Рис. 5. Пример элемента мозаики, полученного гидроабразивным раскроем

	инструмента, мм		
8	Рабочая скорость при бесступенчатом регулировании в пределах, мм/с	0 – 30,0	0,08 - 50,0
9	Скорость быстрого хода, мм/с	0 – 30,0	0 - 50,0
10	Количество одновременно управляемых координат	2	2

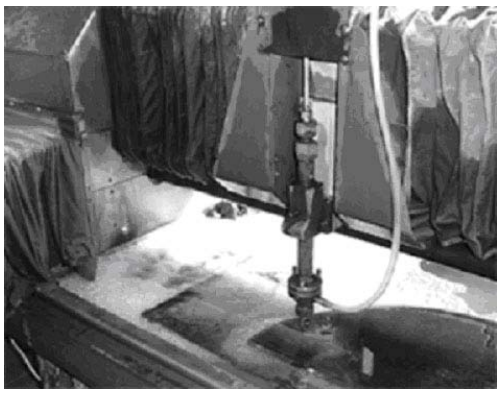

Рис. 3. Пример контурной обработки материала на гидрорезном станке УГАР - 1

При работе комплексов на пультах управления отображается: 1. изображение текущего маршрута режущего инструмента; 2. режимы обработки; 3. интерфейс управления координатографом; 4. интерфейс графический и описательный для корректировки управляющих программ.

При этом **для *CNC* станков любое изделие – это формализованное сочетание в пространстве контуров, расположенных на поверхностях,** или самих поверхностей, получение которых станку и необходимо обеспечить (в равной степени это может быть и «голова богини» и «лопатка турбины»). Разница в машиностроительном и художественном изделии для *CNC* станков заключается **в методике получения управляющей программы (УП),** в том числе, в применяемых инструменте, технологических режимах и оснастке СОЖ [3].

Системы *CAD/CAM* позволяют автоматически создавать УП для станков с *CNC*, конструкторскую и технологическую документацию, организовывать базы данных по материалам, инструментам, оснастке, оборудованию, технологическим операциям и переходам.

Подготовка проекта изделия (рис. 4), в том числе автоматизированной подготовки управляющей программы, происходит в несколько этапов. Прежде всего, эскиз или изображение будущей мозаики сканируется и переносится в конструкторскую программу (Компас-3D), где он масштабируется и приводится в соответствие с реальными размерами.

После этого на основе полученного рисунка из отрезков прямых и дуг (в полилиниях) восстанавливается контур изделия. Здесь надо отметить, что полученный чертеж необходимо проанализировать и оценить не только с точки зрения дизайна, но также с технологической точки зрения – ввести технологические разрезы, смягчить очень острые углы и т.д. Когда все коррективы и изменения будут внесены, можно приступать к следующей стадии – разделению мозаики на составляющие.

Соблюдая цветовую схему рисунка, отдельным деталям мозаики присваиваются номера, которые необходимы при сборке изделия. Далее следует раскладка деталей на материал. На этой стадии необходимо учитывать технологические особенности процесса гидроабразивной резки и располагать детали с учетом будущего реза, а также исходить из оптимальности раскроя с точки зрения минимизации затрат материала. На этом процесс подготовки проекта изделия заканчивается и начинается процесс написания управляющей программы.

Пример программы для обработки элемента мозаики с рис. 5 представлен на рис. 6.

Гидрорезка часто используется для производства сложных контуров из плоских плит. Благодаря очень узкому пропилу, можно создавать инкрустации для производства декоративных и отделочных материалов. Прежде всего, промышленным способом можно производить то, что раньше могло быть сделано вручную. Чтобы дать некоторое представление о производительности данного метода, целесообразно привести таблицу скоростей подачи рабочего органа при обработке различных отделочных материалов различных толщин (табл. 2). Подача, в основном, ограничивается способностью сквозного прохода струи через разрезаемый материал и чистотой поверхности реза.

Для системы Компас-3D разработан постпроцессор, который позволяет

```
%M07 <название программы>
;
N1G90 <задание абсолютной системы координат>
;
N20G0X230.425Y5 <быстрое перемещение в точку>
N21M77 <включение струи>
N22G2X208.152Y-20.045 I205.229J4.981
N23X62.265Y-20.045 I135.208J604.43
N24X117.065Y-116.979 I-28.158J-135.122
N25X20.132Y-62.178 I135.208J28.244
N26X20.132Y-208.065 I-604.343J-135.122
N27X117.065Y-153.265 I135.208J-298.488
N28X62.265Y-250.199 I-28.158J-135.122
N29X208.152Y-250.199 I135.208J-874.674
N30X153.351Y-153.265 I298.575J-135.122
N31X250.285Y-208.065 I135.208J-298.488
N32X250.285Y-62.178 I874.76J-135.122
N33X153.351Y-116.979 I135.208J28.244
N34X211.784Y-17.281 I298.575J-135.122 <кадры с 22 по 34 круговая
интерполяция по часовой стрелке>
N35M78 <выключение струи>
N36M02 <завершение программы>
```

Рис. 6. Текст УП

Таблица 2

Таблица скоростей подач при различных условиях обработки, м/мин.

Толщина материала, мм	**5**	**10**	**20**	**50**	**100**
Мрамор	4,5-6,0	2,0-2,7	0,9-1,2	0,3-0,45	0,1-0,15
Гранит	3,2-4,0	1,5-1,8	0,7-0,8	0,2-0,3	0,06-0,1
Стекло	5,8-6,5	2,5-3,0	1,1-1,4	0,35-0,5	0,1-0,16

Таблица 3

Основные расходы, связанные с обработкой на гидрорежущем оборудовании.

Статья расходов	**Цена за единицу, у. е.**	**Мощность, расход или долговечность**	**Стоимость 1 мин работы, у. е.**
Электроэнергия	0,1	36 кВт	0,06
Абразив (гранит)	0,42	300 г/мин	0,13
Сопло	60	100 ч	0,01
Часто изнашиваемые элементы	300	500 ч	0,01

отчасти автоматизировать процесс создания управляющей программы для станка. Но прежде необходимо описать маршруты движения инструмента, задать точки входа и выхода, а также определить параметры резания.

К основным параметрам относятся такие как диаметр инструмента (на основе этого к линиям раскладки строятся эквидистанты – непосредственно линии реза) и скорость подачи. Итак, когда произведены все дополнительные построения и определены необходимые значения, постпроцессор запускается на выполнение и результатом его работы является управляющая программа, которая нуждается в проверке и отладке.

С обработкой материалов на гидрорежущем оборудовании связаны определённые затраты. Основными из них являются затраты на абразивный материал. Виды затрат представлены в табл. 3.

Выводы

1. Формализовано для *CNC* станков изготовление как машиностроительного, так м художественного изделия – как формализованное сочетание в пространстве контуров, расположенных на поверхностях, или самих поверхностей.

2. Сравнительно недавно возникший способ гидроабразивной резки (ГАР) соответствует прогрессу в совершенствовании существующих технологий, оборудования, инструмента при автоматизированной художественной обработке природного камня на *CNC* станках.

4. В эпоху повышения экологичности способов обработки резка на УГАР обладает высокой конкурентоспособностью. Другие отличительные особенности установки (отсутствие термических воздействий на заготовку и т.п.) делают её ещё более востребованной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тихомиров Р.А., Гусенко В.С.* Гидрорезание неметаллических материалов. – Киев: Техника, 1984. – 150 с.
2. *Kramer D., Tuncar M.* Laser and abrasive water-jet cutting economics. International Sheet Metal Review Autumn. 2000. 38-41.
3. *Степанов Ю.С., Барсуков Г.В.* Современные технологические процессы механического и гидроструйного раскроя технических тканей. – М.: Машиностроение, 2004. – 240 с.

Коротко об авторах

Гусенков Е.Н. – аспирант,
Алимханова Д.Ш. – инженер-программист,
ОАО Национальный институт авиационных технологий,

Осипова Л.П. – аспирантка,
Миков И.Н. – доктор технических наук, доцент,
кафедра «Технология художественной обработки материалов», Московский государственный горный университет.