
**AUTOMATED MANAGEMENT OF MACHINE TOOL'S CUTTING CONDITIONS WITH
USING OF SELF-LEARNING SYSTEMS**

A.N. Inozemtsev, N.I. Pasko, A.V. Antsev

The opportunities of self-learning control systems of metal-cutting equipment for obtaining efficient cutting mode which takes into account production factors, not taken into account in common machine-building standards of cutting mode, are considered in this article.

Key words: cutting mode, wear, tool life dependence, self-learning, control.

Inozemtsev Aleksandr Nikolaevich, doctor of technical science, professor, chief of department, Russia, Tula, Tula State University,

Pasko Nicolay Ivanovich, doctor of technical science, professor, Russia, Tula, Tula State University,

Antsev Alexander Vitalyevich, candidate of technical science, associate professor, a.antsev@yandex.ru, Russia, Tula, Tula State University

УДК 681.513.2

**ОБРАБОТКА СЛОЖНЫХ РЕЛЬЕФНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА
СТАНКАХ С ЧПУ**

А.Б. Орлов, И.А. Антамонов

В статье рассматриваются современные методики автоматизированного нанесения гравировки. Анализируется оборудование и программное обеспечение для лазерного и механического способов маркировки материалов.

Ключевые слова: гравировка, лазерная гравировка, механическая гравировка, станки с ЧПУ, гравировальное оборудование.

Современные станки с ЧПУ позволяют обрабатывать разнообраз-ные сложные поверхности. Примерами таких поверхностей являются релье-фные поверхности художественных гравировок. В настоящее время для повышения конкурентоспособности производственные кампании вынуж-дены проводить непрерывную адаптацию к меняющимся условиям рынка. Все больше приходится ориентироваться на удовлетворение эстетических и эргономических запросов потребителей, используя сложные художест-венные формы для воплощения замыслов технических дизайнеров, что за-частую ведет к усложнению технологических процессов и увеличению

стоимости изготовления изделий. Растущий спрос на эксклюзивную продукцию требует применения в производстве инновационных, в том числе дизайнерских решений, поэтому одним из важных факторов для повышения конкурентоспособности предприятия становится эстетическое оформления продукции, к которому относится художественная гравировка поверхности изделия. В таких условиях особую актуальность приобретает проблема обеспечения высокого уровня автоматизации технологических процессов и производств, с использованием прогрессивного оборудования и компьютерных систем ЧПУ. Помимо автоматизации одной из актуальных проблем становится создание таких условий, при которых технический дизайнер может в полной мере воплотить в жизнь свой творческий замысел.

В связи с многообразием программных средств, выбор современных комплексов и развертывание их на производстве, для решения задач нелинейного формообразования невозможно без систематизации накопленных знаний в этой области. На сегодняшний день существует несколько подходов к нанесению гравировки, которые можно классифицировать по способу нанесения как лазерный, химический и механический, при этом наиболее высокий уровень автоматизации достигается применением лазерного и механического способов.

Лазерный метод маркировки на данный момент является самым распространенным способом нанесения гравировального рисунка. В основе этого способа лежат процессы излучение лазеров, которые, работая в непрерывном или импульсном режимах, достигая поверхности обрабатываемого материала, имеют плотность мощности, достаточную для его нагрева, плавления или испарения. Несмотря на многообразие современных лазерных установок, реальное коммерческое применение для нанесения маркировки получили системы, построенные на базе твердотельных лазеров с длиной волны 1,06 мкм и углекислотных лазеров [1].

В гравировальных системах, построенных на базе углекислотных лазеров, в основном используются отпаянные лазеры с высокочастотной накачкой. Они имеют небольшие габариты, легко встраиваются в различные конфигурации оборудования, удобны в управлении и обеспечивают мощность порядка 100–200 Вт. Ввиду ограничений углекислотные лазеры используются в основном для маркировки неметаллических материалов или металлов с неметаллическим покрытием. Для таких лазеров существует технология маркировки металлов с предварительным нанесением специальных паст или составов, с их последующим удалением, но она не нашла широкого применения. Примером систем на базе углекислотных лазеров могут служить станки «Bodor BCL-X» и «Epilog Zing 16».

Твердотельные лазеры за счет модуляции добротности могут генерировать мощные импульсы высокой частоты при низкой средней мощности излучения, обеспечивая большую плотность мощности в зоне контак-

та. Такие параметры обеспечивают интенсивное воздействие излучения на материал при минимальном общем нагреве. Данный фактор позволяет применять твердотельные лазеры для маркировки металлов, тугоплавких сплавов и сталей, высокотвердой керамики в различных отраслях промышленности [2]. Примером могут служить станки для лазерной маркировки научно-производственной компании "Лазерный Центр" – "Мини-Маркер-М10" и компании «Trotec» – «FC 100».

На данный момент на рынке промышленного оборудования представлен широкий спектр гравировального оборудования лазерного типа, включающего различные виды и конфигурации лазеров. Такие устройства способны обеспечить быстрое и точное нанесения стойких гравировальных рисунков на поверхность изделия. В целом к преимуществам лазерного способа гравировки можно отнести большую скорость технологического процесса, высокую точность выполнения и отсутствие непосредственного механического взаимодействия с гравированной поверхностью. Учитывая эти преимущества, а также высокую отказоустойчивость современного лазерного оборудования данный способ гравировки имеет большую привлекательность для производственных предприятий. Стоит отметить, что для задач простого маркирования продукции (нанесение информации) лазерная гравировка оказывается вне конкуренции, однако когда речь идет о художественном оформлении изделия, производителю приходится учитывать один из основных недостатков данного способа, а именно невозможность точного контроля глубины гравирования.

Наряду с лазерным способом нанесения гравировки в промышленности используется и традиционный механический способ. Под механической гравировкой понимается процесс, связанный с нанесением изображения (текстов, узоров, геометрических фигур, логотипов) путем неполного погружения гравировального инструмента в какой-либо материал. Такими материалами могут быть различные виды металлов и сплавов, акрил, древесина, текстолит, искусственный мрамор, стекло и т.д.

Автоматизированное изготовление художественных изображений механическим способом в настоящее время возможно только на станках с ЧПУ с использованием, в зависимости от поставленных задач, следующих технологических методов:

- сканерно-растровый метод с микродолблением или микрофрезерованием;

- векторный метод с микростроганием;

- векторный метод с фрезерованием [3].

Станки с ЧПУ делают возможным осуществление полного технологического цикла выполнения гравировки, от ввода и редактирования изображения до последующего автоматического формирования управляющей программы и механической обработки. Характерными особенностями такого способа нанесения гравировки является высокая производительность

и качество гравирования (по сравнению с ручными механическими способами обработки). Для получения на поверхности материала полутоновых и штриховых изображений механическим путем, с использованием станка, применяют методы гравировки или чеканки.

Для нанесения рисунка на обрабатываемую поверхность могут применяться следующие методы:

1) Перемещение инструмента вдоль поверхности заготовки:

- векторный метод;

- сканерный метод.

2) Перемещение инструмента вдоль нормали к поверхности заготовки:

- растровый метод;

- векторный метод.

Таким образом, различные сочетания взаимных перемещений инструмента относительно поверхности заготовки обеспечивают получение объемного или плоского (штрихов и точек) изображений вдоль этой поверхности. Наиболее часто встречаемые сочетания перемещений:

а) оси X, Y – сканерное, ось Z – растровое;

б) оси X, Y – векторное, оси ΔX , ΔY – сканерное, ось Z – растровое;

в) оси X, Y, Z – векторное.

При сканерном перемещении изменение положения инструмента происходит вдоль поверхности заготовки, состоящее из двух фаз:

1-я фаза – перемещение только по координате X:

$$X \rightarrow X_0 \dots X_{\max}; Y = \text{const};$$

2-я фаза – приращение перемещения по координате Y:

$$X = \text{const}; Y = Y_0 + \Delta Y.$$

Затем следует реверс и повторение цикла.

При векторном перемещении изменение положения инструмента происходит вдоль поверхности заготовки одновременно по двум координатам $X = X_j \dots X_{j+1}$, $Y = Y_j \dots Y_{j+1}$.

При растровом движении по оси Z видеосигнал заменяется системой точек (импульсное модулирование), при этом импульс составляет:

$$A_{\text{video}} = f_{\text{sign}} z(f, A_m); (f, A) = f(U_{\text{video}}),$$

где f – частота ударов, A_m – амплитуда ударов, U_{video} – уровень видеосигнала.

При векторном движении по оси Z видеосигнал заменяется перемещением вдоль этой оси $A_{\text{video}} = fZ(U_{\text{video}})$ [3].

При криволинейной поверхности заготовки происходит совмещение векторно-сканерно-растровых методов. В случае векторного управления применяется обработка фрезой или строгальным резцом. Растрово-сканерный способ позволяет реализовать факсимильное перенесение изо-

бражения, используя долбежный резец (для хрупких материалов) или однолезвийную угловую фрезу с совмещением долбления (для пластичных материалов).

Наиболее широкое распространение в промышленности получили гравировально-фрезерные станки, оснащенные системами ЧПУ. Рабочим узлом этих станков является высокооборотный шпиндель, оснащенный фрезой. Ниже приведен пример исполнения таких станков [3].

Существует также и ряд специальных гравировальных станков, разработанных для работы с определенными материалами, примером такого оборудования может служить модельный ряд станков фирмы «Pavoni Step Automazioni», которая, помимо прочего, производит станки, специализирующиеся на гравировке методом фрезерования минерала. Это станки портального исполнения, с отдельно стоящим блоком системы управления типа ЧПУ. Такие станки предназначены для неглубокой трех координатной обработки больших плоских поверхностей.

Таким образом, на сегодняшний день на рынке имеется широкая номенклатура станков с ЧПУ, способных выполнять полный спектр работ по механическому нанесению гравировки на поверхность изделия.

В настоящее время существует обширный комплекс программного обеспечения, помогающего автоматизировать весь цикл создания изделия, от разработки дизайна и 3D модели продукта, до автоматической генерации управляющей программы для оборудования с ЧПУ и имитации процесса изготовления. Рассмотрим наиболее популярные решения на рынке современного программного обеспечения, применительно к вопросу нанесения художественной гравировки.

1) «Delcam Power Solution» и система «ArtCam».

Данная система является разработкой известной британской компании Delcam plc - одной из занимающих лидирующее положение в области разработки систем компьютерного моделирования для проектирования и обработки изделий, сложных поверхностей и форм. Ее программные продукты базируются на разработках школы компьютерного моделирования Кембриджа. Приоритетным направлением развития программного обеспечения компании является инструментальное производство.

Система «ArtCam», включенная в комплекс «Power Solution», разработанный компанией Delcam plc способна помочь в решении задачи автоматизации технологических процессов гравирования. Данная программа позиционируется на рынке как система, позволяющая художникам, скульпторам, архитекторам, гравировщикам использовать современные компьютерные технологии для воплощения своих творческих замыслов.

Рассмотрим наиболее типичный вариант использования данного программного комплекса. Процесс начинается с ввода двухмерного изображения в систему. Пользователь имеет возможность создать собственный рисунок непосредственно в среде «ArtCAM» или использовать уже

готовые изображения из библиотеки, поставляемой вместе с системой. Кроме того, можно импортировать изображения из других программных пакетов. Формат хранения данных импортируемого изображения может быть как векторным, так и растровым. Когда плоское изображение получено, пользователь определяет рельефные профили, окрашивая отдельные элементы рисунка в различные цвета. Каждый цвет ассоциируется со своей формой профиля, для чего этому цвету ставится в соответствие либо плоская форма профиля заданной высоты, либо трапецеидальная форма, либо круглый профиль. Например, для круглого профиля может быть задана определенная высота, касательные углы и масштабный коэффициент, что позволяет дополнительно управлять получаемой объемной формой [4].

Для расширения возможностей в «ArtCAM» имеется набор функций, позволяющих складывать, вычитать и сливать рельефы, формировать объем вытягиванием профилей, вращением в различных плоскостях, легко и просто наносить текстуру. Используя эти возможности, легко создавать орнаменты, обрамления рамок, багеты и т.д. Некоторые элементы рельефа или его доводку можно выполнять, используя возможности скульптурного наращивания, удаления или сглаживания объема вручную, просто указывая зону, где надо изменить объем, и то, сколько материала следует убрать или добавить [4]. Все это дает возможность легко разрабатывать трехмерные модели и в короткие сроки переходить к производству изделий.

2) Система «ГеММа-3D» и специализированный модуль 2D/3D гравировки.

«ГеММа-3D» – отечественная система геометрического моделирования и программирования обработки для станков с ЧПУ. Центральной задачей, на решение которой ориентирована система, является получение эффективных программ обработки наиболее сложных деталей на станках с ЧПУ, изготавливаемых с помощью фрезерования, сверления, электроэрозионной резки, вырубки, токарной обработки, гравировки.

Ключевой особенностью данного комплекса в рамках рассматриваемой задачи является наличие специализированного программного модуля «Модуль гравировки 2D/3D», включающего весь функционал для покрытия технологического процесса по нанесению гравировального рисунка на изделие. Также немаловажной особенностью этого комплекса является оптимальность сформированной программы с точки зрения минимизации времени обработки, сокращения объема управляющих программ и гладкости траекторий.

Модуль плоской гравировки системы «ГеММа-3D» относится к виду 2D-обработки, он предназначен для построения прохода по большому количеству элементов центром инструмента и может использоваться для гравировки, разметки, резки или сверления большой группы элементов. При этом производится сбор простых элементов различными стратегиями в цепочки, и минимизируются холостые ходы инструмента.

Данными для формирования проходов гравировки служит математическая модель, представленная в виде совокупности примитивов (отрезков, многоугольников, дуг), кривых, контуров (составных элементов), которые могут быть созданы непосредственно в 2D-редакторе самой системы или импортированы из других систем проектирования и дизайна [5].

Модуль объемной гравировки предназначен для построения прохода выборки области, ограниченной совокупностью плоских замкнутых контуров коническим гравировальным резцом, конической или сферической фрезами. Обработка происходит с переменной глубиной, которая зависит от размера замкнутой области и возможности инструмента выбранной геометрии. Таким образом, создается эффект объема обработки плоских контуров, и формируемый проход приобретает свойства 3D прохода инструмента.

Модуль включает в себя два варианта формирования прохода инструмента, это «Гравировка 3D» - применяется для выборки коническим гравировальным резцом области внутри системы замкнутых контуров или обхода незамкнутых контуров, и «Конгрев 3D», который предназначен для создания штампов объемного теснения кожи, бумаги, ткани и т.д., и выполняемый инструментом со сферической режущей частью.

В системе «ГеММа-3D» также доступны модули контроля и визуализации управляющих программ.

Средства контроля управляющих программ для модуля гравировки, включают в себя:

- динамическое отображение траектории (или сразу нескольких траекторий) движения инструмента с графическим выделением обработанных областей, фиксацией направления обхода и направления коррекции;

- интерактивное редактирование текста управляющей программы в инвариантном коде или кодах системы управления станка (ISO формат) с отображением на экране монитора траектории движения инструмента в соответствии с положением курсора в тексте программы;

- модуль динамического отображения процесса снятия материала инструментом с поверхности детали.

Также система «ГеММа-3D» обеспечивает выход на все отечественные и зарубежные системы управления станками. В этой системе существует табличный генератор постпроцессоров, учитывающий основные параметры большинства систем управления (управление сменой инструмента, задание способа перемещений, технологические команд и G-функции, условия включения корректоров и др.) [6].

3) Программный комплекс «Mastercam».

«Mastercam» – программное обеспечение, используемое для фрезерной, токарной, электроэрозионной и деревообработки на станках с ЧПУ. Данный комплекс признан одним из самых простых в изучении и работе САД/САМ систем, однако при этом он обладает широкими возмож-

ностями в моделировании и большим набором стратегий обработки.

Система «Mastercam», имеет широкие возможности по созданию сложной геометрии, обширный набор различных стратегий обработки, наглядную проверку созданных управляющих программ, полную ассоциативность геометрии и траекторий, а также библиотеку трансляторов из CAD систем [7].

Используя станок с ЧПУ и специализированный модуль «Mastercam Engrave» можно обработать деталь и получить эффект классической художественной ручной резки. Острые внутренние углы и чёткие края готового изделия с переменной глубиной резания довольно тяжело получить с помощью обычной механической обработки. «Mastercam Engrave» предоставляет широкий выбор опций по гравировке включающих в себя:

- стандартное резание;
- рельефные изображения;
- комбинация резание/рельефные изображения;
- открытие в «Mastercam» растровых изображений в виде геометрии для гравировки;
- гравировка шрифтов «TrueType»;
- обратная гравировка для изготовления пресс-форм;
- использование V-образных фрез с заданием любого угла;
- использование постоянного объема удаляемого материала по глубине с постоянной нагрузкой на инструмент.

Модуль «Mastercam Art» - это специализированный CAD/CAM – продукт, предназначенный для автоматизации процессов разработки художественных изделий (в том числе и художественной гравировки) и их изготовления на оборудовании с ЧПУ [8]. В программном модуле есть все необходимые средства по созданию модели рельефа для дизайнера, система позволяет художнику-гравёру экспериментировать с рельефом, пока не получится желаемый результат. Программа позволяет быстро пройти весь путь от плоского рисунка до объёмных форм. В результате можно получить сложное и детализированное изображение за короткий промежуток времени. В качестве входных параметров в программе могут быть использованы импортированные различные данные, такие как: иллюстрации, созданные в различных графических пакетах, графические файлы сканированных плоских изображений, а также файлы из других CAD/CAM систем.

Список литературы

1. Афонькин М., Ларионова Е., Горный С. Анализ технологических возможностей лазерно-гравировальных комплексов // Фотоника. Вып. 5. М.: Техносфера, 2010. С. 4-11.
2. Валиулин А., Горный С., Гречко Ю., Патров М., Юдин К., Юревич В. Лазерная маркировка материалов // Фотоника. Вып. 3. М.: Техно-

сфера, 2007. С. 16-23.

3. Миков И.Н., Морозов В.И. Технология автоматизированного гравирования художественных изображений на камнеобрабатывающих и ювелирных производствах. М.: Мир горной книги, 2007. 338 с.

4. Винницкий М., Власов В., Габанов Э., Мазурин А., Погодаева Н. Создание художественных элементов оформления в Power Solution // САПР и графика. Вып. 2. М.: КомпьютерПресс, 2000. С. 36

5. Гемма 3D - Модуль гравировки 2D: [Электронный ресурс] // НТЦ ГеММа. URL: <http://www.gemma.ru/prod.php?ObjectID=466&CatID=6>. (Дата обращения: 10.10.2013).

6. Гемма 3D - Модуль гравировки 2D/3D: [Электронный ресурс] // НТЦ ГеММа. URL: <http://www.gemma.ru/prod.php?ObjectID=467&CatID=6>. (Дата обращения: 10.10.2013).

7. Шрейбер С. Mastercam X Art продолжает помогать прикладному творчеству // CAD/CAM/CAE Observer. Вып. 28. Рига: CAD/CAM Media Publishing. 2006. С. 80-82.

8. Шрейбер С. О функциях, или За что я люблю Mastercam X Art // CAD/CAM/CAE Observer. Вып. 29. Рига: CAD/CAM Media Publishing. 2006. С. 72-75.

Орлов Александр Борисович, д-р техн. наук, проф., chehonn@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Антамонов Иван Александрович, асп., iaantamonov@gmail.com, Россия, Тула, Тульский государственный университет

REVIEW OF AUTOMATED ENGRAVING METHODS

A.B.Orlov, I.A.Antamonov

This paper reviews the modern methods of automated engraving, analyzes the hardware and software for laser and mechanical marking methods.

Key words: engraving, laser engraving, mechanical engraving, CNC machines, engraving equipment.

Orlov Alexander Borisovich, doctor of technical science, professor, chehonn@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Antamonov Ivan Alexandrovich, postgraduate, iaantamonov@gmail.com, Russia, Tula, Tula State University