

УДК 621.7.01

*И.А. Науменко, Ю.А. Павлов*

**СИСТЕМНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ  
ПРОЦЕССОВ КОМПЬЮТЕРНОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
ГРАВИРОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ РАЗНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ**

Семинар № 23

**П**еред отечественным камнеобрабатывающим и смежными с ним художественным, гранильным и ювелирным производствами наиболее сложной проблемой стала необходимость непрерывной адаптации к условиям рынка, который диктует все более высокие требования к выпускаемой продукции. Для достижения конкурентоспособности на отечественном и мировом рынке промышленные предприятия должны непрерывно повышать качество изготавливаемых изделий, снижать их себестоимость и сокращать сроки выполнения заказов.

Эффективное решение такой целевой задачи стало возможным при создании и организации использования на промышленных предприятиях интегрированных объектно-ориентированных компьютеризированных комплексов для поддержки производственных процессов, в составе которых имеются следующие функциональные компоненты [3]:

- система дизайна (ART) для художественного проектирования конкурентоспособных изделий;

- САПР (CAD - Computer Aided Design) для автоматизированного технического проектирования и конструкторской разработки изделий, а также специальной оснастки и инструмента для их изготовления;

- АСТПП (CAM - Computer Aided Manufacturing) для автоматизированной

технологической подготовки производства изделий, ориентированной, прежде всего, на оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ или CNC);

- система организации конструкторско-технологической подготовки производства (PDM - Product Data Management), обеспечивающая управление процессом проектирования и информационными данными об изделиях;

- гибкая производственная система (ГПС или FMS), обеспечивающая автоматизированное изготовление группы изделий на станках с ЧПУ, объединенных в единый технологический комплекс посредством промышленных компьютеров;

- система планирования и управления предприятием (АСУП или ERP - Enterprise Resource Planning).

Совместное использование названных автоматизированных систем характеризует современное гибкое компьютерно-интегрированное производство (КИП или CIM - Computer Integrated Manufacturing).

Общие требования к компьютеризированной интегрированной системе ART-CAD-CAM-PDM-FMS-ERP определяются спецификой архитектурно-строительных, декоративно-художественных и ювелирных изделий, а также условиями их промышленного производства, главными из которых являются:

- ориентация на удовлетворение непрерывно растущих потребительских за-

просов заказчиков, в том числе эстетических и эргономических требований;

- использование разных художественных форм (рисунка, графики, мелкой пластики, скульптуры, макета и т.д.) для задания исходного образа, определяющего замысел дизайнера изделий;

- представление конфигурации деталей изделий в виде плоских и объемных тел произвольных геометрических форм со сложными поверхностями;

- применение различных материалов, в том числе минералов и горных пород, металлов и сплавов, композитных соединений, искусственных анизотропных кристаллов, цветных и драгоценных камней;

- широкое использование высокопрочных труднообрабатываемых материалов – кремнийсодержащих горных пород типа гранитов, стекла, керамики, других синтетических минералов и кристаллов, природных и искусственных алмазов, других драгоценных и цветных камней;

- высокое качество воспроизведения оригинала с точки зрения передачи цвета, текстуры и фактуры материала, точности получения геометрических форм и размеров (сотые доли мм), шероховатости поверхности, измеряемой десятками и сотыми долями мкм (например, при полировании);

- постоянное совершенствование способов и методов изготовления (обработки, сборки или монтажа, измерений и контроля качества), в том числе на основе нетрадиционных технологий;

- высокий уровень автоматизации технологических процессов изготовления деталей и их комплектов с использованием прогрессивного оборудования и компьютерных систем ЧПУ;

- многономенклатурный характер производства часто меняющихся изделий, изготавливаемых небольшими партиями с возможностью произвольного задания программы выпуска, или единично при минимальных затратах.

Интегрированная компьютерная система "Гравер" предназначена для подготовки и автоматизированного выполнения операций гравирования художественных изображений на плоских, цилиндрических и сферических поверхностях изделий различного назначения [3]. Технологический процесс гравирования строится на разных методах формообразования поверхностей. Кроме традиционного способа гравирования заданных в векторной форме графических рисунков на автоматизированных фрезерно-гравировальных станках в последние годы стал использоваться растровый метод факсимильного гравирования полутонных изображений (например, фотографий) с помощью специальных виброударных и лазерных станков с ЧПУ [1, 2].

Создание и редактирование исходных изображений осуществляется с помощью дизайнерских пакетов типа "Adobe Photoshop" (для растровой) или "Corel Draw" (для векторной графики). Созданные графические образы затем непосредственно передаются в компьютер ЧПУ, где автоматически формируются технологические операции и управляющие программы соответственно для растрового или векторного гравирования. Таким образом, интегрированная компьютерная система "Гравер" имеет структуру типа ART-CAM [3].

Необходимость промышленного изготовления разных видов художественной гравюры – резцовой, игольчатой, пунсоновой, пунктирной, карандашной и других, а также усложнение геометрических форм поверхностей гравироваемых изделий и расширение их размерного диапазона потребовало создания широкой гаммы гравировальных станков с ЧПУ. В последние годы появились многоцелевые станки типа обрабатывающих центров с ЧПУ, в которых операции гравирования выполняются как векторным, так и растровым методами. В связи с этим актуальной стала разработка универсального способа гравирования сложных видов гравюр, выполняемых на неплоских поверхностях изделий из камня, керамики, металлов и

других материалов, которые характеризуются как пластичными, так и хрупкими свойствами.

Свойства материала во многом определяют выбор технологического метода гравирования поверхности изделия. Существующие технические устройства позволяют получать растровые полутоновые копии изображений на заготовке способом точечного деформирования поверхности полированного материала посредством удара (долблением). Гравирование так же может осуществляться в режиме резания материала вращающейся фрезой.

Существующее автоматизированное гравировальное оборудование по способу обработки материала, делится на два класса: механические гравировальные станки и лазерные. Очевидно, что лазерное оборудование позволяет получать полутоновые изображения с высоким разрешением, соответственно высокого качества.

Широкое распространение получили гравировальные фрезерные станки, использующие векторный способ управления. Способ обработки в этом случае реализуется в режиме резания (фрезерования) или строгания материала. Фрезерно – гравировальные станки предназначены для обработки широкого спектра твердых материалов, в том числе минералов. Данный способ обработки позволяет получать векторные двумерные штриховые изображения на твердой поверхности материала, состоящие из сплошных и прерывистых линий с профилем определенной глубины, которая в пределах одного контура может быть постоянной или разной. Полученный таким способом сплошной штриховой рисунок отличается филигранным характером, при этом передача полутонов практически исключается. Метод фрезерования чаще используется для изготовления объемных барельефных изображений, поскольку все фрезерно – гравировальные станки оснащены 3-ей формообразующей

координатой и имеют малый шаг перемещения (1,25 мкм), обеспечивающий высокую точность позиционирования. Это позволяет многократно проходить по одной и той же поверхности, постепенно изменяя контуры изображения. Воспроизведение полутонового изображения посредством точечного фрезерования в режиме непрерывного опускания – подъема фрезы возможно, но нецелесообразно в виду того, что производительность процесса остается крайне низкой, а управляющая программа является сложной и большой по объему. В настоящее время широкая гамма гравировально-фрезерных станков, оснащенных разнообразными дополнительными приспособлениями (в том числе растровыми головками для изготовления полутонового изображения), выпускаются рядом фирм – ROLAND (Япония), Cielle (Италия), НПФ ООО «САУНО» (Россия).

К отдельной группе гравировальных машин относятся растрово-сканерные факсимильные гравировальные станки, использующие ударный способ обработки посредством локального точечного разрушения материала, позволяющий получать полутоновые изображения. Однако данный способ имеет ряд функциональных ограничений. Процесс деформирования ударом для пластичных и хрупких материалов различен. Для пластичных - это ч е к а н к а , для хрупких – г р а в и р о в к а . При нанесении рельефов на плоскую поверхность вязких материалов в процессе внедрения индентора в его толщу образуются пластические выпучивания («выплывы») материала на границе деформирования, которые приводят к значительному искажению изображения. Только при достаточно большой площади изображения и низком разрешении, «выплывы» при пластическом деформировании металла индентором не будут влиять на качество продукции (рис. 1) [6].

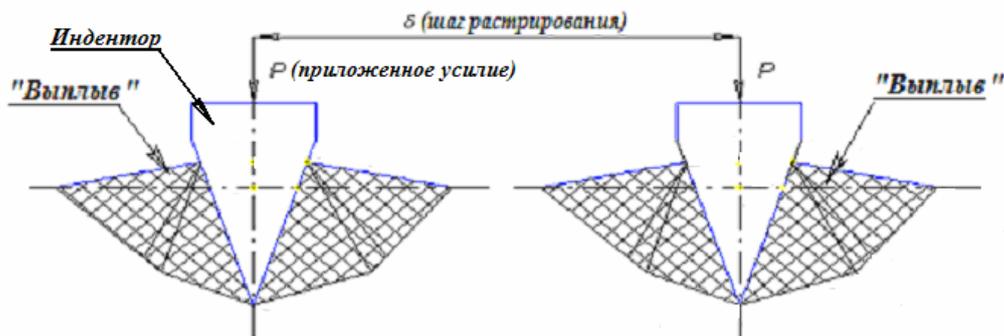


Рис. 1. Внедрение индентора в пластичный материал

Ударный способ вообще не применим для обработки биметаллов с различной оптической плотностью поверхности и внутреннего слоя, так как при ударном воздействии верхний слой не удаляется, а только лишь деформируется. В результате сохраняется практически одинаковая оптическая плотность исходной и деформированной части поверхности без вскрытия нижнего слоя. При нанесении рельефов на поверхность хрупких материалов данный способ реализуется посредством выбора таких технологических режимов, при которых величина дополнительного скола, еще не изменяет заданной площади пробельного пятна. Следовательно, для производства глубоких рельефных поверхностей из хрупких материалов неизбежен метод многократных проходов, что значительно снижает производительность процесса.

Для растрового копирования художественных изображений, при соблюдении вышеизложенных ограничений, могут быть использованы следующие материалы: чугун, бронза, дюралюминий - хрупкие металлы; пластичные металлы - серебро, золото, нержавеющей сталь; материалы с различной оптической плотностью поверхности и внутреннего слоя (например, анодированный алюминий и т.д.). Горные породы (хрупкие материалы) для растрового копирования художественных изображений могут быть

использованы в том случае, если сохраняются одинаковая оптическая плотность по всей исходной и другая оптическая плотность деформированной части поверхности в точке деформации. К таким породам могут быть отнесены габбро, базальт, долерит, обсидиан, керамогранит.

Учитывая вышеизложенные ограничения существующих способов обработки, и рассматривая вопрос расширения области применения копировально-гравировальной техники, предлагается новое техническое решение задачи - перевод процесса чеканки в процесс гравировки путём задания инструменту одновременно 2-х формообразующих движений: возвратно-поступательного и вращательного. В связи с этим актуальной является разработка новой технологии динамического микрофрезерования (ДМФ), которая совмещает процессы удара и вращения обрабатывающего инструмента. При этом удар рассматривается как динамическое изменение скорости подачи инструмента к поверхности заготовки с целью получения растрового изображения на поверхности материала с заданной интегральной оптической плотностью. Для реализации технологии ДМФ требуется разработка технического устройства (исполнительного узла к существующей гравировальной системе) с расширенными функциональными возможностями для повыше-

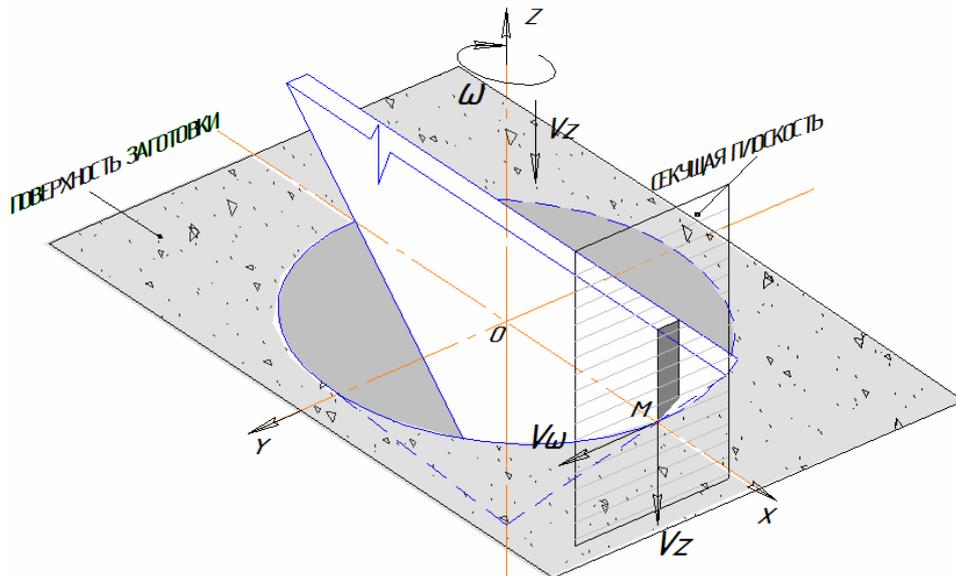


Рис. 2. Формирование поверхности пробельного элемента

ния как производительности станка, так и качества продукции. Предлагаемый метод расширяет возможность обработки материалов по глубине. Инструмент, работающий в режиме ДМФ, исключает образование «выплывов» при обработке пластичных материалов и «дополнительного скола» при обработке хрупких материалов, позволяет получать качественные изделия из материалов с различной оптической плотностью поверхности и внутреннего слоя, т.е. снимаются известные ограничения растрового способа гравировки. При этом повышается качество получаемого изделия. Простота конструкции позволяет легко регулировать настроечные параметры системы в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемого материала.

Основной задачей динамического микрофрезерования является создание на поверхности материала пробельного элемента в форме лунки, оптическая плотность которой соответствует оптической плотности внутренних слоёв этого материала, способом совмещенного формообразующего движения, при этом форма пробель-

ного элемента должна быть получена с минимальными отклонениями от формы правильного конуса (рис. 2).

Следовательно для реализации задачи автоматизированного гравирования на станке с ЧПУ и регулирования настроечных параметров системы, необходимо определить область функционирования привода электромеханического преобразователя и привода вращения, формализованную в виде передаточной характеристики  $Z_{внедр} = f(F_z, n)$ . Передаточная характеристика определяет функцию изменения глубины внедрения инструмента  $Z_{внедр}$  в толщу материала от выбранных усилий внедрения –  $F_z$  и частоты вращения инструмента –  $n$  определяется выражением [6]:

$$Z_{\text{внедр}} = \sqrt{m \left[ \frac{k_1}{m} + 4\pi^2 n^2 (\text{tg} \alpha_2)^2 \right] \frac{2F_z \Delta H}{m \left[ \frac{k_1}{m} + 4\pi^2 n^2 (\text{tg} \alpha_2)^2 \right]} + \frac{-k_1 \sqrt{\frac{2F_z \Delta H}{m \left[ \frac{k_1}{m} + 4\pi^2 n^2 (\text{tg} \alpha_2)^2 \right]}}{2k_2} + \sqrt{\left[ \sqrt{m \left[ \frac{k_1}{m} + 4\pi^2 n^2 (\text{tg} \alpha_2)^2 \right] \frac{2F_z \Delta H}{m \left[ \frac{k_1}{m} + 4\pi^2 n^2 (\text{tg} \alpha_2)^2 \right]}} \right]^2 k_1^2 - 4k_2 \left[ \sqrt{m \left[ \frac{k_1}{m} + 4\pi^2 n^2 (\text{tg} \alpha_2)^2 \right] \frac{2F_z \Delta H}{m \left[ \frac{k_1}{m} + 4\pi^2 n^2 (\text{tg} \alpha_2)^2 \right]}} \right]^2 k_1 - 2F_z \Delta H}}{2k_2}}$$

где  $\Delta H$  [м] – участок технологического зазора;  $\alpha_1$  – передний угол заточки инструмента;  $\alpha_2$  – угол затыловки инструмента; физико-механические свойства материала выражены через параметры:  $k_1$  [Н/м] – коэффициент пропорциональности, учитывающий упругие свойства материала, в зоне режима смятия материала, выводится на основании теории внедрения индентора в пластичное тело [4, с. 243];  $k_2$  – [Н/м] – коэффициент пропорциональности, учитывающий упругие свойства материала, в зоне режима резания, выводится на основании теории резания материалов [5, с. 217];  $m$  [кг] – масса инструмента и рабочих частей (т.е. держателя, вала и т.д.).

Диаграмма передаточной функции  $Z_{\text{внедр}} = f(F_z, n)$  представлена на рис. 3.

Рассмотрим на примерах влияние изменений ускоряющей силы  $F_z$  и скорости вращения инструмента  $n$  на форму пробельного элемента заданной глубины  $Z_{\text{внедр}} = 100$  (мкм) при условии, что длина участка разгона  $\Delta H = 200$  (мкм),  $\alpha_1 = 90^\circ$ ,  $\alpha_2 = 35^\circ$ . Тогда, соответственно,  $Z_{\text{внедр}} = r_{\text{лунки}}$ , а приведенная скорость вращения инструмента  $n'$ <sup>1)</sup> равна:  $n' = n \text{tg} 35^\circ = 214 \cdot 0,7 = 150$  (с<sup>-1</sup>).

По зависимости  $Z_{\text{внедр}} = f(F_z, n)$  для значений  $Z = 100$  (мкм) и  $n' = 150$  (с<sup>-1</sup>) оп-

ределяется  $F_z = 0,5$  (Н). Методом математических дискрет рассчитывается функция времени  $t_{\text{внедр}} = f(Z)$  и определяется время внедрения  $t_{\text{внедр}}$  на глубину  $Z_{\text{внедр}} = 100$  (мкм) (при  $F_z = 0,5$  (Н) и  $n' = 150$  (с<sup>-1</sup>)); по расчетам  $t_{\text{внедр}} = 0,0062$  (с), (рис. 4, а).

Выполняем аппроксимацию зависимости  $t_{\text{внедр}} = f(Z)$  степенной функцией с преобразованием формы этой зависимости к виду  $Z = f(t_{\text{внедр}})$ , которая определяется выражением:

$$f(t) = -2,601 \cdot t^2 + 0,0322 \cdot t,$$

Для построения огибающей кривой «входа» индентора в материал при образовании пробельного элемента, в программе "MATHCAD" определяются параметрическими функциями по осям  $X, Y$ :

$$f(x) = (-2,601t^2 + 0,0322t) \cdot \cos(2\pi 214t + \varphi)$$

$$f(y) = (-2,601t^2 + 0,0322t) \sin(2\pi 214t + \varphi)$$

где:  $f(t)$  – отражает изменение глубины внедрения во времени, а параметр тригонометрической функции  $(2\pi n \cdot t + \varphi) = (\omega \cdot t + \varphi)$  характеризует скорость вращения инструмента с частотой  $n$  (с<sup>-1</sup>) и начальной фазой внедрения  $\varphi = 0$ . График этой функции представлен на рис. 4, б.

Количество оборотов инструмента внутри заготовки при внедрении  $N_{\text{внедр}}$  (обороты) определяется из соотношения  $N_{\text{внедр}} = T_{\text{внедр}} / T_{1-\text{го.об.}}$ , где  $T_{1-\text{го.об.}}$  – время вращения инструмента за 1 оборот,  $T_{1-\text{го.об.}} = 1/n = 1/214 = 0,00467$  (с), следовательно:

<sup>1)</sup>  $n'$  (с<sup>-1</sup>) – это приведенная частота вращения, которая учитывает влияние заднего угла заточки инструмента  $\alpha_2$  [7].

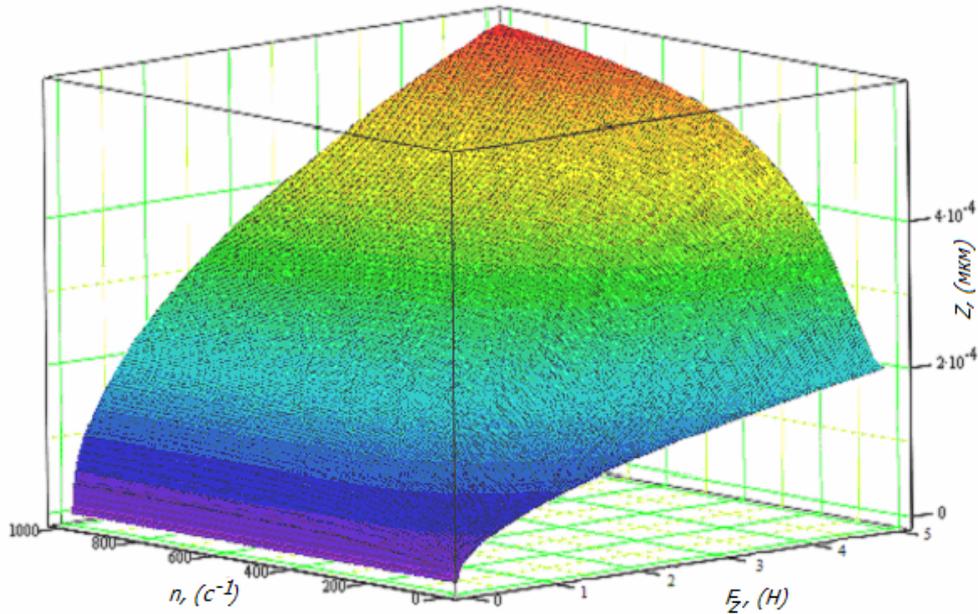


Рис. 3. Передаточная характеристика  $Z_{внедр} = (F_z, n)$

$$N_{внедр} = \frac{T_{внедр}}{T_{1-во.об}} = \frac{0,0062}{0,00467} = 1,328 \text{ (об)}.$$

Чтобы получить огибающую «выхода», т.е. траекторию крайней точки  $M$  режущей кромки лезвия (рис. 2) при обратном движении индентора, используем те же формулы параметрических функций. Для сокращения времени цикла внедрения уменьшим время выхода  $T_{вых}$ , (т.е.  $T_{вых} < T_{внед}$ ), тогда в формулу под знак тригонометрической функции вводится дополнительный коэффициент  $K = T_{вых}/T_{внед}$ . Примем условие, что возвратная сила  $F_{возв}$  в три раза больше, чем  $F_z$ , (т.е.  $K=1/3$ ). Тогда огибающая «выхода» описывается выражением:

$$f(y) = (-2.601t^2 + 0.0318t) \cdot \sin(2\pi 214Kt + \varphi).$$

Количество оборотов инструмента внутри заготовки при выходе определится как:  $N_{вых} = N_{внедр}/K = 1,328/3 = 0,443$  (об). Величина начальной фазы  $\varphi$  выхода, т.е. на-

чальный угол с которого начинается кривая выхода, определяется из условия совмещения последней точки кривой входа  $\varphi_{вх.к.}$  и начальной точки кривой выхода  $\varphi_{вых.н.}$ . В общем случае  $\varphi_{вх.к.}$  не равно  $\varphi_{вых.н.}$ , а отстоят друг от друга на угол  $\varphi$ , поэтому  $\varphi = \varphi_{вх.к.} - \varphi_{вых.н.}$ . Введя  $\varphi$  в формулу кривой «выхода», получим совпадение искомых точек (рис. 5).

Задачей динамического микрофрезерования является получение формы пробельного элемента, максимально приближенной к форме конуса. При этом зона «недореза» должна быть минимальна, так как ее наличие приводит к искажению интегральной оптической плотности и, соответственно, к снижению качества. На рис. 5, 6 и 7 представлены графики траектории точки  $M$  (рис. 3), отражающие процесс формообразования пробельного элемента заданной глубины  $Z_{внедр} = 100$  (мкм), при  $\{n, F_z\} = var$ .

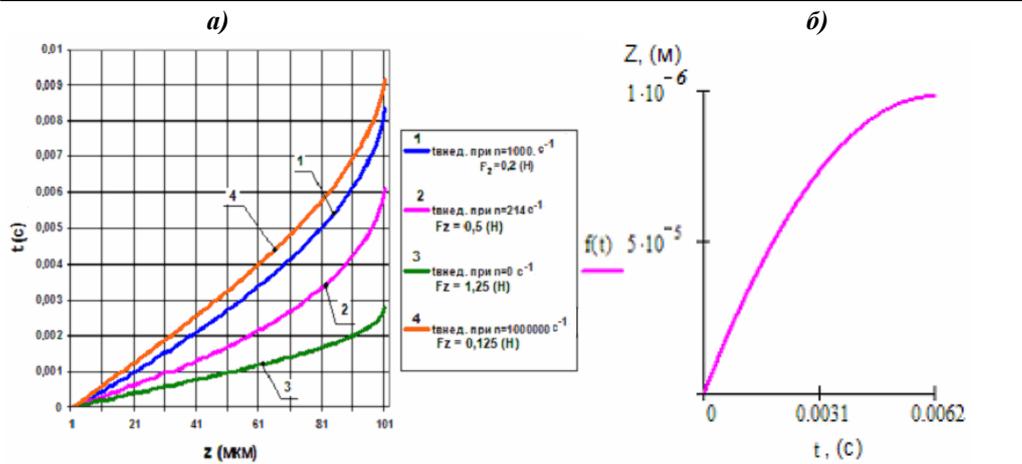


Рис. 4. а) График изменение времени  $t_{\text{ввод}}$  при внедрении на глубину  $\Delta h_0 = Z = 100 \text{ мкм}$  при разных значениях скорости вращения инструмента " $n$ " и ускоряющей силы " $F_z$ "; б) график изменения  $Z = f(t)$

Из графиков видно, что с ростом частоты

и время внедрения, рис. 4, а. Это приводит к

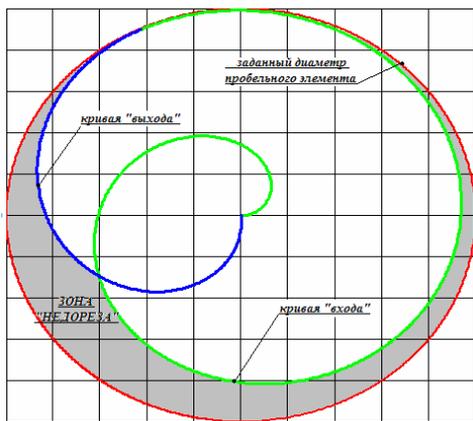


Рис. 5. Форма пробельного элемента  $r_{\text{дунки}} = 100 \text{ (мкм)}$  при  $\{n = 214 \text{ (c}^{-1}\text{)}, F_z = 0,5 \text{ (H)}, \alpha_1 = 90^\circ, \alpha_2 = 35^\circ, \Delta H = 200 \text{ мкм}\}$

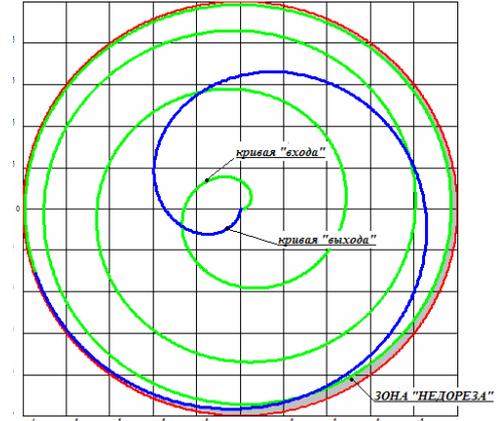


Рис. 6. Форма пробельного элемента  $r_{\text{дунки}} = 100 \text{ (мкм)}$  при  $\{n = 500 \text{ (c}^{-1}\text{)}, F_z = 0,36 \text{ (H)}, \alpha_1 = 90^\circ, \alpha_2 = 35^\circ, \Delta H = 200 \text{ мкм}\}$

вращения инструмента число оборотов инструмента в толще материала увеличивается. Это приводит к уменьшению зоны «недореза», и при  $n = 1000 \text{ (c}^{-1}\text{)}$ , она отсутствует (рис. 7), т.е. достигается режим обычного фрезерования.

Одновременно с увеличением частоты вращения инструмента увеличивается

увеличению времени цикла  $T_{\text{цикл}}$  и, соответственно, к снижению производительности рабочего процесса (т.к. частота ударов инструмента  $f = 1/T_{\text{цикл}}$ ).

Рассчитаем  $f$  для примера, представленного на рис. 5. Время цикла внедрения инструмента определяется выражением:

$$T_{\text{цикл}} = t_{\Delta H} + t_{\text{ввод}} + t_{\text{вых}}$$

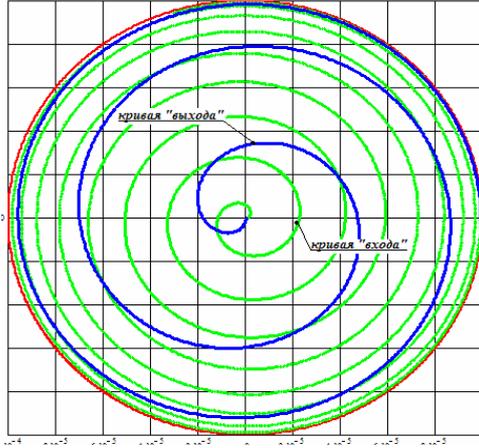


Рис. 7. Форма пробельного элемента радиусом  $r_{\text{лунки}} = 100$  (мкм) при  $\{n = 1000$  ( $c^{-1}$ ),  $F_z = 0,2$  (Н),  $\alpha_1 = 90^\circ$ ,  $\alpha_2 = 35^\circ$ ,  $\Delta H = 200$  мкм}

где  $t_{\Delta H}$  – время, затрачиваемое индентором на прохождение участка технологического зазора  $\Delta H = 200$  мкм, определяется из выражения:

$$t_{\Delta H} = \sqrt{2 \cdot m \cdot \frac{\Delta H}{F_z}} = \sqrt{2 \cdot 0,2 \cdot \frac{0,0002}{0,5}} = 0,013 \text{ (с)}$$

Из предыдущих расчетов получено, что  $t_{\text{внедр}} = 0,0062$  (с). Время возврата  $t_{\text{вых}}$  зависит от величины возвращающей силы  $F_{\text{возв}}$ . При расчете  $F_{\text{возв}}$  целесообразно исходить из необходимости уменьшения  $T_{\text{цикл}}$  и соответственно к уменьшению  $t_{\text{вых}}$ , тогда выберем  $t_{\text{вых}} = (t_{\Delta H} + t_{\text{внедр}}) / 3$ . Следовательно,  $F_{\text{возв}}$  определяется как:

$$F_{\text{возв}} = \frac{2 \cdot m \cdot (\Delta H + Z_{\text{внедр}})}{T_{\text{возв}}^2} = \frac{2 \cdot 0,2 \cdot (0,0002 + 0,0001)}{(0,019 / 3)^2} = 2,992 \text{ (Н)}$$

Тогда

$$t_{\text{вых}} = \sqrt{2 \cdot m \cdot \frac{\Delta H}{F_z}} = \sqrt{2 \cdot 0,2 \cdot \frac{0,0002}{2,992}} = 6,333 \cdot 10^{-3} \text{ (с)}$$

Время полного цикла равно:  $T_{\text{цикл}} = t_{\Delta H} + t_{\text{внедр}} + t_{\text{вых}} = 0,026$  (с), тогда частота ударов инструмента:  $f = 1/T_{\text{цикл}} = 38,46$  (Гц).

Аналогичный расчет для параметров пробельного элемента, представленного на рис. 7, показывает, что с увеличением частоты вращения до  $n = 1000$  ( $c^{-1}$ ) и  $F_z = 0,2$  (Н),  $f = 1/T_{\text{цикл}} = 28,57$  (Гц).

Если для формирования лунки используется шпиндельный узел фрезерного станка, то реальная частота возврата – поступательного движения не превышает 1–го Гц. При этом в общем случае  $\{V_z, \omega\} = const$ , следовательно, формообразующая траектория пробельного элемента, получаемая в результате сложения двух движений, имеет вид архимедовой спирали, а поверхность лунки соответствует форме конуса [6].

В случае применения электромеханического привода (ЭМП) скорость перемещения  $V_z = var$ , а, учитывая, что скорость вращения инструмента  $\omega = const$ , то величина подачи на оборот тоже переменная. Поэтому рассматривается понятие мгновенной подачи как отношение приращений во времени глубины внедрения и

$$\text{угла поворота: } S_{\text{мгн}} = \frac{dZ/dt}{d\varphi/dt} = \frac{V_z}{\omega},$$

где  $S_{\text{мгн}}$  отражает скорость подачи по оси Z при угле поворота в момент времени  $t$ . Следовательно формообразующая траектория пробельного элемента примет вид спирали с переменным шагом от центра к периферии. Важно отметить, что при больших скоростях подачи  $V_z$  процесс смещения рабочей точки инструмента и достижения ей нужного радиуса может происходить быстрее, чем выполняется 1 оборот инструмента. Это приводит к наличию значительной величины зоны «недореза» (рис. 5). Таким образом,

решая технологическую задачу динамического микрофрезерования, необходимо выбирать такие параметры, которые одновременно обеспечивают требуемую производительность и качество.

Проведенные теоретические расчеты на конкретных примерах доказывают, что в случае применения ЭМП и реализации процесса обработки материала методом динамического микрофрезерования, производительность процесса, определяемая частотой ударов инструмента  $f = 1/T_{цикл}$ , увеличивается в 38,5 раз в сравнении с технологией точечного фрезерования на станках с ЧПУ (где  $f \approx 1$  Гц). Однако пробельный элемент при такой производительности образуется с наличием зоны «недореза» (рис. 5). Следовательно,

необходимо подбирать такие параметры  $\{F_z, n\}$ , при которых форма пробельного элемента была бы с минимальными отклонениями от формы конуса, как показано на рис. 6. В случае, когда форма образующей траектории «идеально» соответствует форме конуса (рис. 7), т.е. достигается наиболее высокое качество изображения, производительность процесса падает до 28,6 Гц. Таким образом, сравнивая два метода обработки – ДМФ и точечного фрезерования, можно принять, что производительность процесса гравирования в среднем увеличивается в 30 раз, без потери качества. Это обуславливает целесообразность использования метода ДМФ в гравировальных станках с ЧПУ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миков И.Н. Технология растрового факсимильного механического копирования изображений и гравировальные CNC-станки: Монография. – М: ИКФ "Каталог", 2004. – 140 с.
2. Миков И.Н., Дроздов В.И., Павлов Ю.А. Компьютерная технология и оборудование для художественного гравирования облицовочных и поделочных камней. // Горный информационно-аналитический бюллетень, №3. - М.: Изд-во МГТУ, 2000. С. 199-204.
3. Павлов Ю.А. Компьютерные системы проектирования и подготовки производства промышленных изделий из камня: Учеб. пособие в 3 частях. Ч. 1. Научные основы, методы и средства создания программных приложений. - М.: МГТУ, 2002. - 108 с.
4. Друянов Б.А., Непершин Р.И. Теория технологической пластичности. - М.: Машиностроение, 1990, 272 с.
5. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1985. – 304 с., ил.
6. Науменко И.А. Теоретические основы технологии динамического микро-фрезерования.// Горный информационно-аналитический бюллетень. - М.: Изд-во МГТУ, справка № 444/03-06 от 20.12.2005. – 35 с.

#### Коротко об авторах

Павлов Ю.А. – кандидат технических наук, профессор,  
Науменко И.А. – аспирантка,  
кафедра «Технология художественной обработки материалов», Московский государственный горный университет.



УДК 622.02:621.9.01

*Л.П. Осипова, И.Н. Миков*

**ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
МОЗАИЧНЫХ КАМЕННЫХ ПАННО**

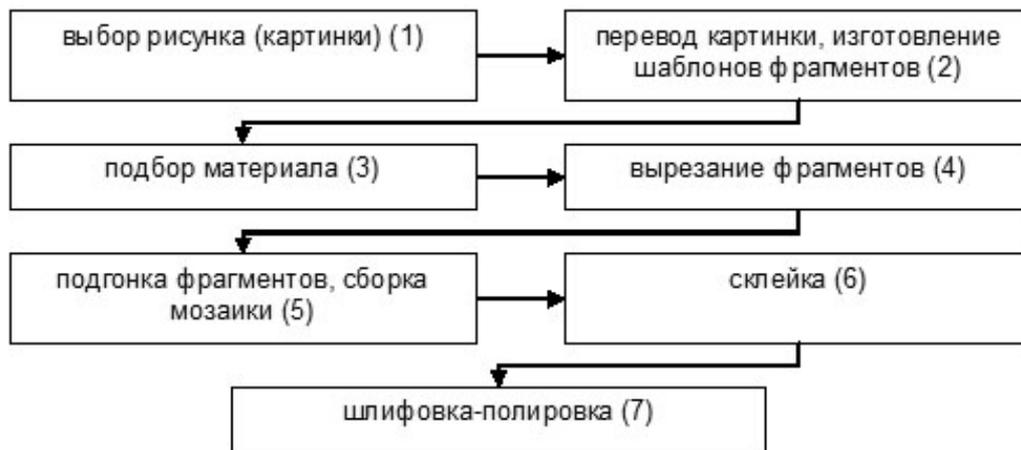
Семинар № 23

**П**роцесс изготовления мозаичных панно в общем случае представлен на рис. 1.

Обратимся к вырезанию фрагментов мозаики – самой трудоёмкой операции в этом процессе. Их изготовление до недавнего времени осуществлялось только вручную с использованием подрезных пил, электрических лобзиков, ручной притирки [1]. Сущность технологии ручного изготовления мозаики состоит в следующем: после ознакомления с картиной (рисунком, эскизом), которую необходимо воплотить в камне, ее разбивают на отдельные участки (элементы). Каждый участок в свою очередь разбивают на детали. Из приготовленных каменных пластина-заготовок выбирают такие, из которых можно вырезать каждую деталь. Отобранные за-

готовки размечают, вырезают из них детали и набирают в участки. Переводят картинку на кальку и для каждого элемента рисунка делают шаблоны, которые затем обводятся или приклеиваются к каменным пластинам. Далее эти пластины обрезаются по контуру с припуском, который впоследствии убирают при подгонке к другим фрагментам [2]. Этот кустарный метод изготовления мозаик весьма трудоёмок. На изготовление одного изделия уходят месяцы. Его цена высока, поскольку каждая работа индивидуальна.

Сделать мозаики более доступными по цене, но не уступающие по качеству авторским работам, позволяет вовлечение в процесс производства современных компьютерных технологий и оборудования с числовым программным управлением



*Рис. 1. Технологический процесс изготовления мозаичного панно*

(ЧПУ). Так процесс от выбора рисунка (картинки) до сборки можно автоматизировать, т.е. провести работы по подготовке чертежа и написанию управляющей программы (УП) (эквивалент созданию шаблонов при ручном изготовлении) в специализированной CAD-CAM системе. На станке с ЧПУ типа CNC провести вырезание фрагментов по контуру в автоматическом режиме. Отметим, что для проектирования высокохудожественных изделий в компьютерной системе желательна наличие ART модуля, позволяющего проводить редактирование эскиза, содержащего обширные библиотеки изображений и дающего возможность редактировать растровую исходную картинку [3]. Ценность подобной автоматизации заключается еще и в том, что информация об изделии (об его профиле) в виде УП (и исходного чертежа) хранится в библиотеке. В случае разрушения мозаики, она может быть восстановлена. Такой подход позволяет тиражировать панно. И быстро переходить к выпуску, как новых изделий путем модификации существующего каталога, так и изделий уже производившихся, но новых требуемых размеров.

Сборка и склейка мозаик по-прежнему осуществляется вручную. Несмотря на это автоматизация даёт сокращение времени изготовления панно и увеличение точности подгонки, лучшую стыковку элементов.

Технология автоматизированного изготовления фрагментов мозаик представлена на рис. 2.

Изготовление фрагментов по готовой УП возможно на фрезерных, гидро- и гидроабразивных станках (в основном интерьерные работы) и лазерных установках (для изготовления ювелирных вставок и декоративных панно малых размеров). По большей части оборудование для контурной обработки ориентировано на резание металлов и сплавов, пластических масс, стекла и керамики. Специализированное оборудование с ЧПУ для обработки при-

родного камня представлено на рынке в основном зарубежными фирмами: BRETON S.p.a., Z. Bavelloni, Cielle (Италия), WATER JET SWEDEN AB (Швеция), и т.д. Хотя существуют и отечественные аналоги.

К технологическим методам изготовления мозаичных фрагментов на автоматизированном оборудовании по рис. 2 относятся: фрезерование контура (2, 2.5D обработка); гидроабразивную резку; лазерную резку.

Рассмотрим более подробно каждый из этих методов.

*Фрезерование* – обработка резанием металлических и неметаллических материалов, при котором режущий инструмент - фреза - имеет вращательное движение, а обрабатываемая заготовка - поступательное. Оно применяется для обработки плоскостей, криволинейных поверхностей деталей, резьбовых поверхностей, зубьев зубчатых и червячных колес и т.п.

В качестве рабочего инструмента используются алмазные шлифголовки различного диаметра – для вырезания сложных контуров на камне и других хрупких материалах. Так же могут быть применены концевые фрезы – твёрдосплавные и алмазные. Диаметр фрезы зависит от величины вырезаемого фрагмента и его геометрии. При составлении управляющих программ для станков с ЧПУ типа CNC такой инструмент обычно называется «цилиндрическая фреза».

Важно подобрать режим, при котором стойкость инструмента будет максимальной, а отжиг незначителен. Камень подвержен хрупкому разрушению, необходимо избегать сколов по контуру. Поскольку они влияют на качество стыковки фрагментов и соответственно внешний вид мозаики. К настоящему времени вопросы обоснования оптимальных режимов фрезерования для камня мало изучены. Имеющиеся данные носят эмпирический характер.



Рис. 2. Автоматизированная технология изготовления фрагментов мозаичных панно

Для контурного резания используют вертикально-фрезерные станки. Минимум для этой операции необходимо 2 координаты. Тогда для начала фрезерования необходимо сделать техническое отверстие. Часто по задумке автора мозаики, фон инкрустируется фрагментами меньшей толщины, т.е. резание контура изображения происходит не насквозь. Тогда нужен 3-координатный станок. Если панно содержит полуобъёмные фрагменты, то количество координат увеличивают до 3.

*Гидроабразивная резка* – резка струей воды высокого давления с добавкой мелкого абразивного порошка. Процесс резания происходит в результате эрозивного воздействия на материал высокоскоростного потока твёрдых частиц. От-

деление частиц разрезаемого камня состоит из комбинированного действия механизмов резки, хрупкого разрушения, усталости и плавления. Скорость процесса эрозии зависит от кинетической энергии частиц, механических свойств разрезаемого материала, угла атаки, формы частиц.

Струя жидкости по своим техническим возможностям приближается к идеальному точечному инструменту, что позволяет обрабатывать сложный профиль с любым радиусом закругления. Рез можно начинать в любой точке заготовки и при этом не нужно предварительно выполнять технологическое отверстие, небольшие сила реакции температура в зоне резания исключают изме-

нения физико-механических свойств обрабатываемого материала (прижогов). 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.

Технологии гидроабразивной резки позволяют получитьрезы толщиной 0,6 до 1,2 мм [5], однако они не перпендикулярны к поверхности. Это проявляется тем сильнее, чем толще разрезаемый материал. Поэтому могут возникнуть проблемы при стыковке фрагментов, приводящие к увеличению швов и необходимости дополнительной доводки.

Абразивно-жидкостная струя - это значительно более экономичный, в сравнении с традиционным режущим инструментом, элемент технологического процесса.

*Лазерная резка* – используется термическое действие света, вызываемое его поглощением в обрабатываемом материале. Для увеличения плотности потока излучения и локализации зоны обработки применяют оптические системы. Лазер обладает локальностью воздействия излучения, обусловленной возможностью его фокусировки в световые пучки предельно малого диаметра (порядка длины волны излучения). Он даёт бесконтактный ввод энергии в зону обработки и возможность ведения технологических процессов в любой прозрачной среде (вакуум, газ, жидкость, твёрдое тело). Воздействие излучения кратковременно, что обеспечивает малую зону термического влияния.

Для резки хрупких материалов (стекло, керамика) методом управляемого термического раскалывания применяют лазеры на углекислом газе. При локальном нагреве материала по траектории движения луча создаются термические напряжения, превышающие предел прочности материала. Возникающая трещина развивается вслед за лучом, траектория которого мо-

жет иметь сложную форму. Скорость резки достигает нескольких м/мин. Управляемое термическое раскалывание применяется при резке стеклянных трубок в производстве электровакуумных приборов, керамических подложек интегральных схем, для резки листового и фасонного стекла [6].

Данная технология (газолазерная резка) позволяет получить тонкиерезы 0,3—1 мм, однако за счёт неоднородной кристаллической структуры луч в камне может отклониться от заданной траектории, что приведет к браку.

Нужно помнить, что при механической резке хрупкий материал может растрескаться от приложенной нагрузки, при лазерной резке — от резкого перепада температур.

Каждый из вышеописанных способов вырезания фрагментов панно из камня имеет свои особенности, достоинства и недостатки.

Фрезерное и гидроабразивное оборудование помимо вырезания контуров позволяет проводить 3-хкоординатную обработку и векторную гравировку. Эти возможности важны при изготовлении полубъемных фрагментов мозаики декорированием гравированием. Используя в художественных панно из камня совмещение техник плоской мозаики, инкрустации, резьбы и гравирования, мы можем получить изделия высокого художественного уровня. Их производство может быть как единичным, так и серийным (изготовление мозаик, являющихся элементами модульных систем облицовки). В процессе фрезерования усилие резания значительно, поэтому узкие участки фрагментов могут треснуть в процессе обработки, привести к браку. Гидроабразивная технология справляется с этой проблемой.

Фрезерные, гидрорезные и лазерные установки подходят для контурного резания материалов. Выбор того или иного оборудования зависит от требований к

внешнему виду мозаики, её размеров и наличия барельефных фрагментов, гравированных изображений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Синкенес Дж. Руководство по обработке драгоценных и поделочных камней, М.изд-во «Мир», 1998.
2. Белицкая Э.И. Художественная обработка цветного камня, М., Легкая и пищевая промышленность, 1983.
3. Павлов Ю.А. Компьютерные системы проектирования и подготовки производства промышленных изделий из камня: учеб. пособ. для студ. спец. 11200. В 3-х частях. Ч.1: Научные основы, методы и средства разработки программных приложений. – М.: МГГУ, 2002.-108 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1/ под редакцией А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. 4-ое изд., перераб. и доп. - М: Машиностроение, 1985. 656 с., ил.
5. Булавкин А.А., Семёшин Н.М., Шеметов М.Г. Технологические комплексы на базе гидроагрегата УСВД- 3500 для контурной резки камня [www.laser.ru/tsoft/gidro\\_cut.htm](http://www.laser.ru/tsoft/gidro_cut.htm).
6. Стельмах М.Ф., Чельный А.А. Лазерная технология. Большая советская энциклопедия. <http://slovari.yandex.ru/> ([www.rubricon.com](http://www.rubricon.com)).

#### Коротко об авторах

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

#### ДИССЕРТАЦИИ

##### ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
<b>ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА им. А.А. СКОЧИНСКОГО</b>			
ТИТОВ Сергей Владимирович	Обоснование и выбор критериев оценки параметров угледобывающих комплексов с целью повышения эффективности их применения	05.05.06	к.т.н.

© Д.А. Петроченков, 2006

УДК 553.5:549 (470.42)

*Д.А. Петроченков*

***КАМНЕСАМОЦВЕТНОЕ СЫРЬЁ  
УЛЬЯНОВСКОЙ ОБЛАСТИ***

Семинар № 23

---

**К**амнесамоцветное сырьё Ульяновской области можно разделить на следующие группы: аммониты различных видов, кальцитовые прожилки септариев, спектропирит, сенгилит, окаменевшее дерево.

Сбор камнесамоцветного сырья Ульяновской области проводится из морских отложений верхнеюрского и нижнемелового возраста [3]. Отложения обнажаются (рис. 1) преимущественно на правом крутом берегу р. Волга (Куйбышевское водохранилище). Эти отложения могут вскрываться также в карьерах по добыче песка, глины, известняков и при строительстве различных инженерных сооружений.

Верхнеюрские отложения представлены глинами с конкрециями карбонатов, фосфоритов, прослоями песчаников, битуминозных сланцев и мергеля. Мощность отложений составляет в среднем 35 м [2]. Из верхнеюрских отложений собираются только аммониты, характеризующиеся, как правило, низкой декоративностью.

Основной объём камнесамоцветного сырья, включающий аммониты, септарии

и в ограниченных объёмах окаменевшее дерево, поступает из готеривских отложений нижнего мела. Эти отложения представлены тёмно-серыми глинами с конкрециями мергеля мощностью около 80 м [2].

Помимо готеривских отложений для сбора камнесамоцветного материала важную роль играют аптские отложения нижнего мела. Отложения представлены ритмичным переслаиванием серо-коричневых, кварц-глауконитовых песчаников, тёмно-серых глинистых алевролитов, чёрных и тёмно-серых глин. Породы содержат пиритовые, сидеритовые и карбонатные конкреции. В разрезе присутствуют чёрные горючие сланцы с крупными фрагментами древесины и пласт битуминозного мергеля – «аптская плита». Мощность отложений составляет 50-55 м [2]. Из отложений проводится сбор спектропирита, сенгилита, окаменевшего дерева и аммонитов. Последние имеют преимущественно коллекционную ценность.



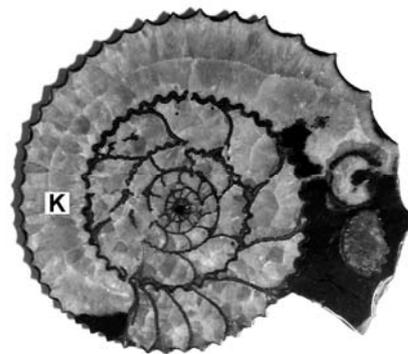
*Рис. 1. Выходы верхнеюрских (нижняя часть снимка) и нижнемеловых отложений*



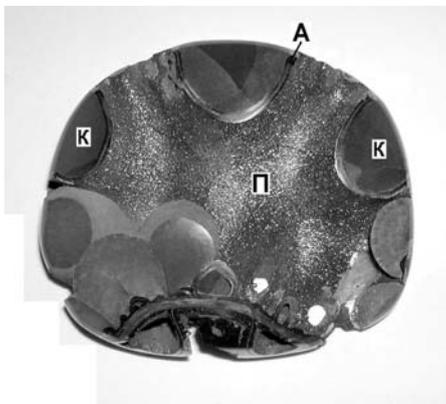
*Рис. 2. Конкреция мергеля с аммонитом. Диаметр 21 см*



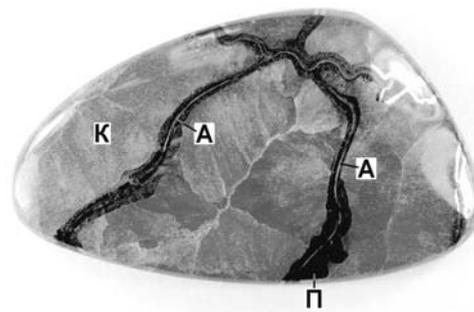
*Рис. 3. Аммонит рода Craspedodiscus с хорошо сохранившимся слоем перламутра (аммолит). Диаметр 24 см*



*Рис. 4. Продольный распил аммонита с кальциевым (К) замещением. Диаметр 4,5 см*



*Рис. 5. Жеода кальцит (К) - пирит (П) – арагонитового (А) состава. 4x3 см*



*Рис. 6. Кабошон из фрагмента аммонита. Кальцит (К) - пирит (П) - арагонитового (А) состава. 5x3,5 см*

Основным видом камнесамоцветного сырья являются аммониты. Наилучшую сохранность раковины аммонитов имеют в мергелистых конкрециях, находящихся в глинистых отложениях (рис. 2). При этом в одном и том же слое далеко не все конкреции содержат аммониты. Предполагают, что конкреции с раковинами образовались там, где последние захоранивались с телом моллюска. «Пустые» конкреции возникали вокруг тел моллюсков, выпавших из раковин. В результате диагенеза многие конкреции были разбиты внутри

трещинами высыхания (уплотнения) и выполнены кальцитом. Сплюснутые раковины, встречающиеся в окружающих глинах, в момент захоронения уже были пусты [4].

Рисунок изделий из аммонитов обусловлен строением самой раковины и набором минералов её заместивших. По данным рентгенографического анализа основными минералами, входящими в состав аммонитов, являются пирит, магнезиальный кальцит, арагонит. Обнаружены также в небольших количествах в отдель-

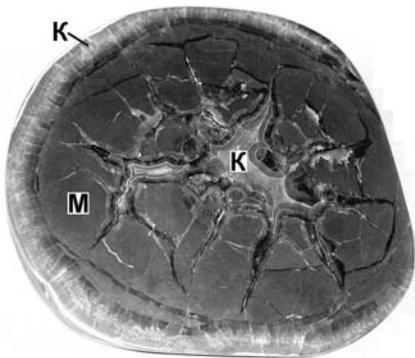


Рис. 7. Конкреция мергеля (М) с жилами кальция (К) – септарий. 15x12 см

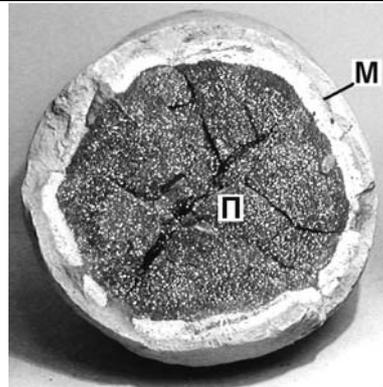


Рис. 8. Конкреция мергеля (М) с иголками спектропирита. Диаметр 12 см

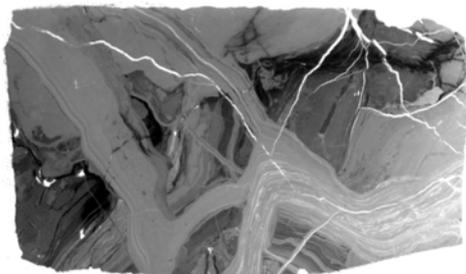


Рис. 9. Структура сенгилита в прозрачном илифе. Николи ||. Ув. 4,2

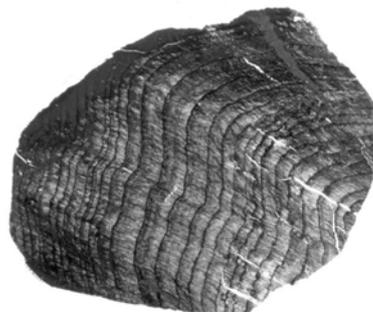


Рис. 10. Структура окаменевшего дерева в прозрачном илифе. Николи ||. Ув 3,5

ных образцах гематит, доломит, кварц, гипс и шабазит. Отдельные камеры аммонитов могут быть заполнены мергелем [3].

Ульяновские аммониты, используемые как камнесамоцветное сырьё, можно разделить на следующие группы: аммониты целые (рис. 3); аммониты с продольным распилом (рис. 4); фрагменты аммонитов, используемые для изготовления кабошонов (рис. 5, 6); ископаемый перламутр.

Важными факторами, определяющими внешний вид целых аммонитов, являются сохранность перламутрового слоя, рельеф поверхности, форма оборотов раковины и её размер. Ульяновские аммониты в целом виде используются, как правило, для декоративных целей при оформлении интерьеров (рис. 2, 3).

Аммониты с хорошо сохранившейся раковиной распиливаются вдоль (рис. 4). Крупные экземпляры используются для оформления интерьеров, изготовления столешниц, а мелкие для изготовления ювелирных изделий. Изделия из продольных распилов аммонитов (рис. 4) очень эффектны, сохраняют сложную форму и строение раковины, что исключает изготовление имитаций. Часто задача ювелира ограничивается изготовлением простого каста, позволяющего носить изделие на цепочке или шнурке. Делают кабошоны из аммонитов низкого качества и в виде дуплета с прокладкой из фольги. Это позволяет усилить цвет изделия, увеличив объём достаточно редкого материала.

Наибольший объём ювелирных изделий изготавливается из фрагментов аммонитов, что связано с ограниченностью хорошо сохранившихся мелких раковин. Наиболее популярны поперечные распилы крупных аммонитов, представляющие отдельные фрагменты раковины. Такие фрагменты могут представлять как частично заполненные камеры аммонитов-жеоды (рис. 5), так и камеры с полным заполнением (рис. 6).

Жеоды имеют кальцит-пиритовый состав (рис. 6), очень разнообразны по рисунку и сочетанию цветов. Иногда пирит, выполняющий стенки камер, имеет разнообразную окраску, что в сочетании с различной окраской кальцита делает изделие особенно эффектным. Можно с уверенностью сказать, что любое ювелирное изделие с жеодами даже в простой оправе индивидуально. С другой стороны, это создаёт серьёзные трудности при изготовлении комплектов, в связи, с чем основной объём жеод идёт на изготовление кулонов.

Кабошоны, включающие заполненные камеры аммонитов, имеют преимущественно кальцитовый состав (рис. 6). Характерной особенностью их является арагонитовый слой (0,5-1,0 мм), образующий перегородки и стенки первоначальной раковины аммонита. Пирит также постоянно присутствует в виде тонких прожилков (1-2 мм), обрамляющих арагонитовые слои. Для кабошонов характерно сочетание ярких оранжевых, желтовато-оранжевых цветов с тёмно-коричневыми зонами.

Ювелирные изделия с кабошонами из фрагментов аммонитов также весьма разнообразны. Индивидуальность рисунка камня часто ограничивает возможность изготовления комплектов. Поэтому в изделиях используется, как правило, один камень. неповторимость и красота камня не требуют изготовления сложных элементов дизайна оправы изделия, хотя и не исключает творческого подхода.

Особый интерес для ювелиров представляет ископаемый перламутр, сохраняющийся на внешней стороне раковины некоторых

видов аммонитов. На мировом рынке ювелирных камней наиболее известен канадский ископаемый перламутр под торговой маркой аммолит [1]. Он добывается из меловых отложений на юге провинции Альберта и характеризуется иризацией в контрастных зелёных и красных тонах [4]. Подобный материал найден и в Ульяновской области.

Ископаемый перламутр, пригодный для изготовления ювелирных изделий связан с готеривскими отложениями нижнего мела, а его источником являются аммониты рода *Craspedodiscus* (рис. 3). Аммолит (ископаемый перламутр) наиболее редко встречаемая часть аммонита и его стоимость в несколько раз превышает другие виды камнесамоцветного сырья. Из аммолита изготавливают все виды ювелирных изделий. Материал более однородный, чем жеоды, что позволяет изготавливать комплекты, включающие серьги и наборные браслеты. Дизайн изделий может быть совершенно простой с камнями высокого качества и усложняться с камнями среднего и низкого качества. Совместно с аммонитами в мергелистых конкрециях содержатся жилы кальцита различной окраски, мощности и текстуры. Такие конкреции известны под названием - септарии. Часто септарии выполнены только жилами кальцита и не содержат ископаемых раковин (рис. 7). Основной объём септариев связан с готеривскими отложениями нижнего мела.

Септарии используют для изготовления столешниц, шаров, шкатулок, подставок для часов, а также ювелирных изделий. Вставки из септариев и аммонитов внешне близки и получили общую торговую марку – симбирцит [1]. По данным рентгенографического анализа карбонатные прожилки септариев состоят из магnezияльного кальцита, в

отдельных образцах отмечается пирит, а также присутствуют следы органического вещества и доломита. Вмещающей породой служит мергель.

Кальцитовые прожилки септариев составляют основной объём камнесамоцветного сырья, связанного с аммонитами. Этот факт обусловлен доступностью материала и высокой его декоративностью. Из кальцитовых прожилков септариев изготавливают все виды ювелирных изделий. Тиражированность рисунка и размера камня позволяет делать комплекты, наборные композиции в браслетах и ожерельях, перейти к массовому изготовлению стандартных моделей. Невысокая стоимость камня позволяет изготавливать недорогие массовые изделия: бусы, брелки для ключей и большой ассортимент декоративных изделий.

Из камнесамоцветного сырья особый интерес представляют щеточки мелкокристаллического пирита с пёстрой побежалостью, образованные в мергелистых конкрециях (рис. 8). Из них изготавливают кабошоны для ювелирных изделий, известные под торговой маркой – спектропирит [1]. Мергелистые конкреции используются для изготовления подложек в кабошонах, а также для фрагментов сувенирной продукции.

Определённый интерес, как ювелирно-поделочный материал, представляют углефицированные, замещённые карбонатом, древесные и растительные от-

ложения (рис. 9). Кабошоны из них имеют весьма интересный рисунок, образованный зонами и тонкими слоями чёрного, тёмно-коричневого, серовато-коричневого и желтовато-коричневого цветов. При этом кабошоны могут быть обработаны до зеркальной поверхности. Изделия из этого материала получили торговую марку – сенгилит, по месту находки у пос. Сенгилей [1].

Окаменевшее дерево также используется как материал для ювелирных и декоративных изделий. В Ульяновской области оно имеет карбонатный состав с включениями пирита и органического вещества. Цвет окаменевшего дерева изменяется от тёмно-коричневого до чёрного. Хорошо сохраняется исходная структура древесины с годовыми кольцами (рис. 10).

В заключении подчеркнём, что камнесамоцветное сырьё Ульяновской области характеризуется высокой декоративностью с широким диапазоном рисунков и цветов камня. Ювелирные изделия из камнесамоцветного сырья Ульяновской области даже в стандартных простых моделях выглядят индивидуально и могут удовлетворять любому вкусу покупателя, успешно конкурировать на мировом рынке. Камнесамоцветное сырьё может собираться попутно в карьерах по добыче строительных материалов или в береговых обрывах р. Волги без проведения горных работ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буканов В.В. Цветные камни. Геммологический словарь. С.-П., 2001, 208с.
2. Геология СССР. Том XI. Поволжье и Прикамье. Ч.1. Геологическое описание. Коллектив авторов. М., Недра, 1967, 872с.
3. Петроченков Д.А., Натариус А.М. Готеривские аммониты Ульяновской области, как поделочно-ювелирный материал. Вестник Геммологии. №1(12), 2005, с. 23-28.
4. Основы палеонтологии. Справочник для палеонтологов и геологов СССР. Моллюски головоногие I. Изд-во АН СССР. М., 1962, 438 с.
5. Mychaluk K., Levinson A., Russell H. Ammolite: iridescent fossilized ammonite from Southern Alberta, Canada. Gems & Gemology volume XXXVII, Spring, 2001, p. 4-25.

#### Коротко об авторах

Петроченков Д.А. – студент, Российский государственный геологоразведочный университет.





