

**Н.В. Новиков<sup>1</sup>, Ю.Д. Филатов<sup>1</sup>, В.И. Сидорко<sup>2</sup>, В.В. Пегловский<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев

<sup>2</sup> Научно-технологический алмазный концерн НАН Украины "Алкон", Киев

## **ФИНИШНАЯ ОБРАБОТКА ДЕКОРАТИВНО-ХУДОЖЕСТВЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПРИРОДНОГО КАМНЯ**



*Описан процесс финишной алмазно-абразивной обработки поверхностей деталей из природного камня. Определены наиболее рациональные конструкции и характеристики рабочего слоя инструмента, а также режимные и кинематические параметры процесса обработки деталей из камня на станках радиально-консольного и мостового типов, исходя из распределения коэффициента заполнения поверхности инструмента рабочим слоем, требований к обработанной поверхности по шероховатости, отражающей способности и идиохроматичности окраски.*

*Ключевые слова: алмазное шлифование, полирование, природный камень, качество поверхности.*

В настоящее время в процессе производства декоративно-художественных изделий из природного камня (амазонита, кварцита, скарна, халцедона, чароита, и т.п.) широко используются технологии тонкого и супертонкого алмазного шлифования (ТАШ и СТАШ соответственно). Кроме того, при финишной обработке деталей для полирования поверхностей применяются инструменты с закрепленными зернами полировальных порошков.

Возрастающие требования к экологической безопасности производственных процессов не допускают применения токсичных веществ (паст и суспензий на основе токсичных материалов) при изготовлении и применении инструмента. Указанная проблема не решена до настоящего времени и при использовании инструментов, в которых химически инертные алмазные или абразивные порошки закреплены в связках, в состав которых или входят химически активные токсичные вещества, или

могут образовываться в процессах финишной обработки изделий.

Применение алмазного инструмента позволяет существенно интенсифицировать режимы и повысить производительность обработки, однако их более высокая стоимость по сравнению с абразивными инструментами, которая определяется не только дорогостоящими алмазными порошками, но и высокими ценами материалов связки, является решающим аргументом в пользу обычного абразивного инструмента. Такой аргумент чаще всего становится основным на предприятиях отечественной камнеобрабатывающей отрасли, особенно в мелкосерийном производстве при выборе инструментов из предлагаемого ассортимента зарубежного и отечественного производства. Вместе с тем не учитываются другие критерии целесообразности применения инструмента, которые базируются на соответствии свойств инструмента химическому составу и физико-механическим характеристикам обрабатываемого материала, выборе оптимального коэффициента запол-

нения поверхности шлифовального или полировального инструмента рабочим слоем. Не учитывается также характеристика рабочего слоя инструмента, являющаяся основой для снижения себестоимости обработки и обеспечения требований экологической безопасности.

При реализации технологических процессов финишной обработки природного камня существенное улучшение технико-экономических, экологических и эргономических показателей производства при рациональном использовании сырьевых ресурсов (в том числе вторичных) может быть достигнуто только на основе комплексного подхода к их анализу, что является актуальной научно-технической проблемой.

Конструкция рабочего слоя инструмента для финишной обработки деталей из подделочных камней выбирается в соответствии с результатами расчетов коэффициента заполнения его поверхности рабочим слоем. При выполнении рабочего слоя в виде отдельных элементов, зафиксированных в полимерной массе, дополнительно обеспечиваются улучшение технологии изготовления инструмента и защита элементов от скалывания в процессе обработки. В качестве материала корпуса инструмента для операций ТАШ и СТАШ целесообразно использовать полиэтилен высокого давления марки ВД 15803-020 (ДСТУ 2406-94), а для операции полирования — кабельный пластикат И 40-13А (ГОСТ 5960-72) [1–3]. В результате обоснования выбора материала абразивной массы для изготовления элементов показана целесообразность использования алмазных и полировальных порошков и связующего — полиэтилентерефталата (ПЭТФ) [4, 5]. Для повышения износостойкости инструмента и прочности его рабочего слоя в процессе изготовления в расплав связующего добавляются базальтовые волокна, которые обеспечивают образование сетки, являющейся армирующим элементом [6].

На рис. 1 представлены инструменты для финишной обработки изделий из природного камня. Рабочий слой инструментов для обра-

ботки плоских поверхностей (рис. 1, а, б) в виде отдельных элементов имеет вид изогнутых лопастей, ширина которых возрастает от центральных зон к периферии [1, 2, 7] с коэффициентом заполнения, зависящим от кинематической схемы обработки и используемого оборудования. Форма рабочего слоя инструмента для обработки сложнопрофильных поверхностей (рис. 1, в, з, д) изделий из подделочных камней определяется видом функции, которая описывает образующую их профиля [7].

При использовании инструментов с описанными выше конструкциями рабочего слоя достигаются повышение производительности обработки, улучшение качества обработанных поверхностей, снижение затрат на изготовление инструмента и снижение себестоимости обработанных деталей.

Обоснование характеристики рабочего слоя инструмента осуществляется на основе результатов исследования взаимодействия полировальных порошков с различными связующими и с обрабатываемыми материалами в процессе полирования. Физико-химические свойства полировального инструмента зависят от его компонентов и от характера их взаимодействия в процессе изготовления инструмента. Смачивание полировальных порошков материалом связующего в процессе изготовления полировального инструмента играет важную роль, поскольку их смешивание происходит в расплаве. В качестве полировальных порошков использовались оксид алюминия, оксид хрома, суперабразив FR-Remillox, порошки ультрадисперсного алмаза (УДА). Материал связующего — ПЭТФ, эпоксидная смола ЭД-20, кремний-органическое соединение (КОС) [8], древесно-смоляной пек.

Работоспособность полировального инструмента при обработке образцов из природного камня оценивается по производительности полирования, износу инструмента, шероховатости и отражательной способности обработанных поверхностей. Для различных материалов существует полировальный порошок, ис-

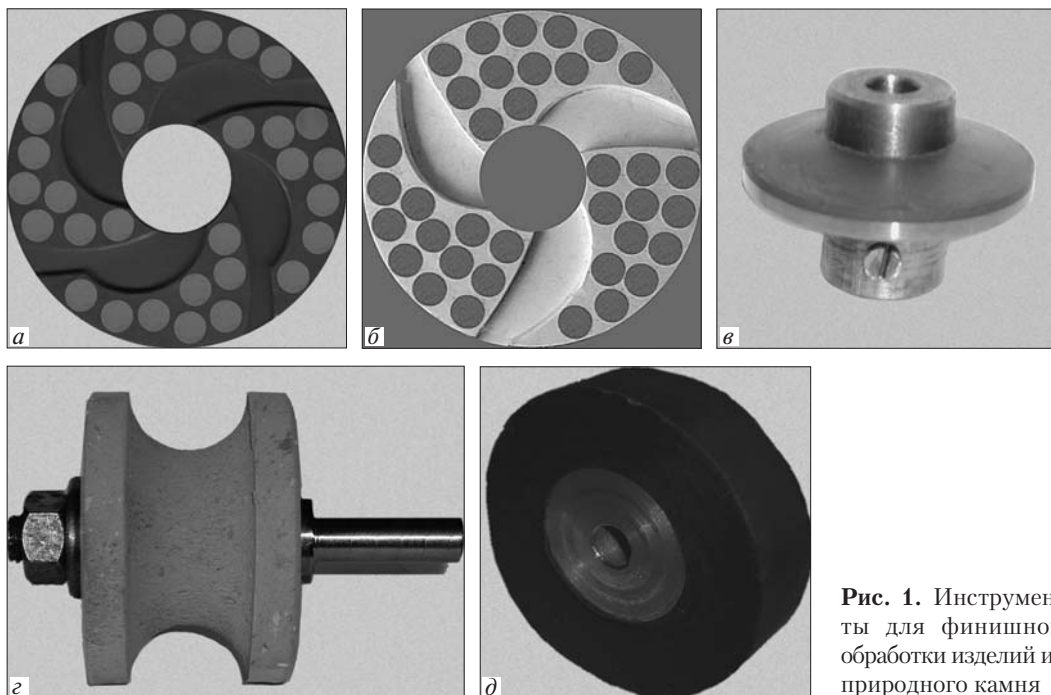


Рис. 1. Інструменти для фінішної обробки изделий из природного камня

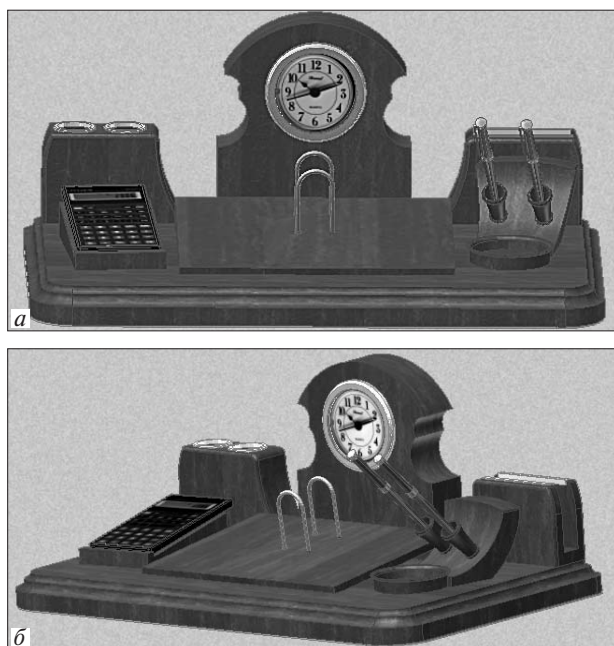
пользование которого в инструменте дает наилучшие результаты. Показатели работоспособности инструментов на основе ПЭТФ, КОС и различных полировальных порошков при обработке деталей из яшмы и кварца (розового), амазонита и мрамора приведены в таблице.

Из приведенных выше данных следует, что для изготовления полировального инструмента наиболее целесообразно использовать порошки оксида алюминия, УДА и порошки на основе диоксида церия в зависимости от вида обрабатываемого природного камня. Инструменты для финишной обработки деталей из природного камня разработаны применительно к оборудованию, традиционно используемому в камнеобрабатывающей промышленности. Станки радиально-консольного типа, мостовые шлифовально-полировальные станки, оснащенные феррсами, и шлифовально-полировальные станки типа ШП представляют практически весь станочный парк, задействованный для обработки камня на финишных операциях. Поэтому традиционные техноло-

гии финишной обработки деталей из природного камня с разработкой и внедрением в производство инструментов с новыми конструкциями и характеристикой рабочего слоя изменились, в основном, в части технологии изготовления самого инструмента, схем подачи и расхода смазывающе-охлаждающей технологической среды (СОТС), а также режимных и кинематических параметров, при которых осуществляется процесс.

**Показатели работоспособности инструментов на основе различных полировальных порошков**

№ пор.	Полировальный порошок	Обрабатываемый материал	Показатели работоспособности инструмента	
			Производительность $Q$ , мкм/мин.	Износ $I$ , мкм/мин
связующее – ПЭТФ				
1	оксид алюминия	яшма	0,26	2,0
2	FR-Remilox	кварц	0,16	1,7
связующее – КОС				
3	оксид алюминия	амазонит	0,26	2,4
4	порошок УДА	мрамор	0,28	2,1



**Рис. 2.** Трехмерная параметрическая модель письменного прибора из камня: *а* — вид спереди; *б* — аксонометрия

Процессы финишной алмазно-абразивной обработки изделий из природного камня осуществляются при обязательном выполнении следующих условий:

1. Выбор конструкции рабочего слоя инструмента для финишной обработки поверхностей деталей из поделочного камня осуществляется по распределению коэффициента заполнения его поверхности рабочим слоем.

2. Выбор характеристики рабочего слоя инструмента для финишной обработки деталей из поделочного камня осуществляется, исходя из их спектроскопических характеристик и требований к обработанной поверхности по шероховатости, отражающей способности и идиохроматичности окраски. Для ТАШ и СТАШ деталей из камня в качестве связующего инструмента используется утилизированный ПЭТФ. При обработке твердых пород камня используется связующее ПЭТФ, армированное базальтовыми волокнами. Зернистость алмазного порошка в инструментах для каждого из переходов ТАШ и СТАШ выбира-

ется, исходя из требуемых значений шероховатости обработанных поверхностей. Концентрация алмазов в инструменте соответствует минимально-допустимому значению, при котором не происходит засаливания инструмента. Для полирования некоторых видов камня (мрамора, офиокальцита и т.п.) используется инструмент на основе КОС. В качестве полировальных порошков используются окись алюминия, диоксид церия, порошки УДА, гранулометрический состав, форма и средний размер зерен которых определяются в зависимости от спектроскопических характеристик порошков и обрабатываемого материала, шероховатости и отражающей способности обработанных поверхностей.

3. Выбор значений режимных параметров процесса обработки определяется требованиями производства к производительности обработки и качеству обработанных поверхностей. При кинематических параметрах процесса обработки, которые задаются автоматически выбором соответствующего оборудования, разработанные инструменты могут эксплуатироваться при всех возможных для данного оборудования режимах. Единственное ограничение при выборе режимов обработки связано с расходом СОТС. При максимальных режимах обработки (особенно полирования), количество СОТС в зоне контакта инструмента и обрабатываемой детали должно превышать критическое значение расхода СОТС, при котором происходит термодиструкция рабочего слоя инструмента.

Для осуществления технологического процесса финишной обработки деталей из поделочных камней и изготовления инструмента для его реализации разработана нормативная технологическая и конструкторская документации.

На этапе создания конструкции изделий из природного камня используются их трехмерные параметрические модели, моментальные отображения которых представлены на рис. 2: вид спереди (*а*) и аксонометрия (*б*) письмен-

ного прибора [9] и те же пространственные положения часов из камня [10] (рис. 3; а, б).

Для получения реалистичности изображений трехмерных параметрических моделей их поверхностям приданы свойства, зрительно повторяющие особенности полированных поверхностей природных камней со свойственной им цветовой гаммой, степенью прозрачности, отражательными, полихромными и тектоническими особенностями.

Указанные модели созданы при помощи программы Autodesk Inventor [11] и приведены к представленным на рис. 2 и 3 видам путем последовательного преобразования файлов сборочных чертежей вида *iam* в файл формата *bmp* или *tif*. Причем свойства поверхности трехмерной параметрической модели, показанной на рис. 2, зрительно повторяют совокупность свойств полированной поверхности кварцита, а свойства поверхности трехмерной параметрической модели, показанной на рис. 3, — полированной поверхности скарна.

Осуществление процесса финишной прецизионной обработки поверхностей деталей из поделочных камней в соответствии с описанным технологическим процессом позволяет удовлетворить требованиям, которые предъявляются к ним с точки зрения производительности и качества обработки, себестоимости и конкурентоспособности на мировом рынке.

В результате лабораторных и производственных испытаний инструментов установлено, что производительность обработки изделий из природного камня ( $\text{м}^2/\text{мин}$ ) составляет при ТАШ и СТАШ —  $0,2 \div 0,3$ ; при полировании —  $0,05 \div 0,10$ .

Качество изделий характеризуется следующими показателями:

- + шероховатость обработанных поверхностей, мкм:
  - при ТАШ —  $Ra\ 0,2 \div 0,3$ ; при СТАШ —  $Ra\ 0,05 \div 0,10$ ;
  - при полировании —  $Ra\ 0,015 \div 0,030$ ;
- + отражательная способность поверхностей (коэффициент отражения света на длине волны  $\lambda = 530\ \text{нм}$ ), % —  $6,0 \div 9,9$ ;

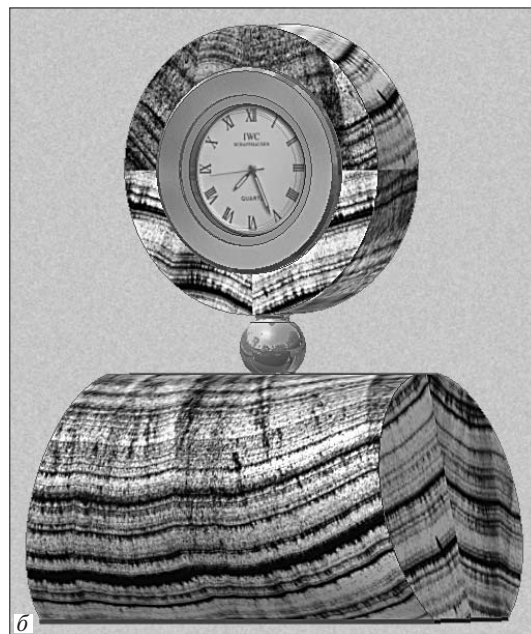
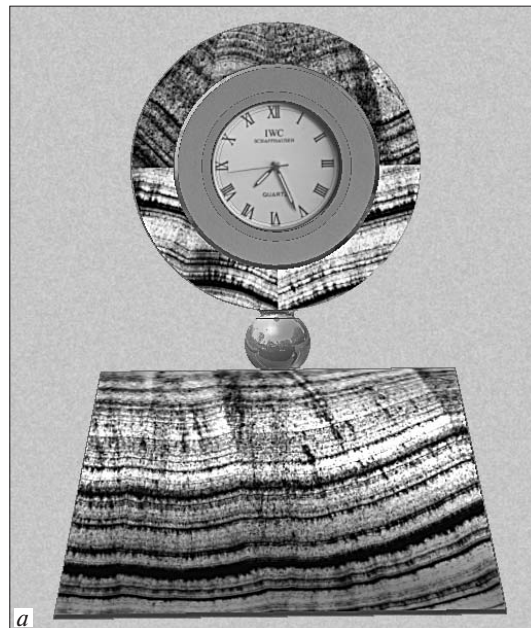


Рис. 3. Трехмерная параметрическая модель часов из камня: а — вид спереди; б — аксонометрия

- + идиохроматическая окраска полированных поверхностей изделий оценена по величине  $\zeta = \frac{I}{I_{\text{et}}}$ , где  $I, I_{\text{et}}$  — интенсивности рассеянного света обработанной и эталонной по-

верхностями, которая составляет от 0,5 до 0,8.

Таким образом, финишная обработка изделий из природного камня инструментами с закрепленными зернами алмазных и полировальных порошков позволяет повысить качество обработки и улучшить свойства изделий производственно-технического и декоративно-художественного назначения.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Патент 51091. Україна, МПК 7 B24D7/00, 5/00. Інструмент для фінішної обробки. М.В. Новіков, Ю.Д. Філатов, В. І. Сидорко та ін. / ІНМ НАН України. — № 2001129157; Заявл. 28.12.2001; Опубл. 15.04.2005, Бюл. № 4. — 4 с.
2. Патент 64524 А. Україна, МПК B24D3/28, B24D7/00. Інструмент для фінішної обробки. М.В. Новіков, Ю.Д. Філатов, В.І. Сидорко та ін./ ІНМ НАН України. — № 2003065738; Заявл. 20.06.2003; Опубл. 16.02.2004, Бюл. № 2. — 4 с.
3. Инструменты для финишной обработки деталей из неметаллических материалов. Н.В. Новиков, Ю.Д. Филатов, В.И. Сидорко и др. // Инструментальный світ. — 2002. — № 2. — С. 4–6.
4. Патент 55047 А. Україна, МПК 7 B24D3/28. Маса для виготовлення робочого шару абразивного інструменту. М.В. Новіков, Ю.Д. Філатов, В.І. Сидорко та ін./ ІНМ НАН України. — № 2002065043; Заявл. 18.06.2002; Опубл. 17.03.2003, Бюл. № 3. — 4 с.
5. Патент 55048 А. Україна, МПК B24D3/28, B24D3/34. Маса для виготовлення робочого шару полірувального інструменту. М.В. Новіков, Ю.Д. Філатов, В.І. Сидорко та ін. / ІНМ НАН України. — № 2002065044; Заявл. 18.06.2002; Опубл. 17.03.2003, Бюл. № 3. — 4 с.
6. Спосіб виготовлення абразивного інструменту. М.В. Новіков, Ю.Д. Філатов, В.І. Сидорко та ін. // Декларативний патент України на корисну модель № 10751.– B24D3/34.– Опубл. 15.11.2005. Бюл. № 11.
7. Инструмент для финишной обработки деталей из природного и искусственного камня / Н.В. Новиков, Ю.Д. Филатов, В.И. Сидорко и др. — Новые материалы и инструменты: Сб. Докладов Междунар. науч.-технического семинара, 1–3 декабря 2005 г., Киев. — Киев: АТМ України, 2005. — 188 с. — С. 70–82.
8. Декларативний патент 15433 Україна, МПК (2006) B24D3/20. Маса для виготовлення робочого шару абразивного інструменту / М.В. Новіков, Ю.Д. Філатов,

- В.І. Сидорко, В.В. Скрыбин, В.Г. Крамар, С.В. Ковальов, Г.П. Богатирьова, В.Г. Полтарацький, / ІНМ НАН України. — № 200509690; Заявл. 14.10.2005; Опубл. 17.07.2006, Бюл. № 7. — 4 с.
9. Пат. 12743 Україна, МКПО 10 — 01. Набор письменний "Парус" / В.И. Сидорко, В.Н. Ляхов, В.В. Пегловский, Е.М. Поталько. — Заявл. 28.09.05; Опубл. 15.09.06, Бюл. № 9.
10. Пат. 13052 Україна, МКПО 10 — 01. Часы / В.И. Сидорко, В.Н. Ляхов, В.В. Пегловский, Е.М. Поталько. — Заявл. 27.10.05; Опубл. 15.11.06, Бюл. № 11.
11. *Рон К. С. Чен.* Autodesk Inventor. — М.: Изд. Лори, 2002. — 568 с.

*М.В. Новіков, Ю.Д. Філатов,  
В.І. Сидорко, В.В. Пегловський*

#### ФІНІШНА ОБРОБКА ДЕКОРАТИВНО-ХУДОЖНІХ ВИРОБІВ З ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ

Описано процес фінішної алмазно-абразивної обробки поверхонь деталей із природного каменю. Визначені найбільш раціональні конструкції та характеристики робочого шару інструмента, а також режимні й кінематичні параметри процесу обробки деталей з каменю на верстатах радіально-консольного й мостового типу, виходячи з розподілу коефіцієнта заповнення поверхні інструмента робочим шаром, вимог до обробленої поверхні за шорсткістю, відбивною здатністю й ідіохроматичністю забарвлення.

*Ключові слова:* алмазне шліфування, полірування, природний камінь, якість поверхні.

*N.V. Novikov, Y.D. Filatov,  
V.I. Sidorko, V.V. Peglovsky*

#### FINAL PROCESSING OF NATURAL STONE WORKS

The final diamond-abrasive processing of natural stone surfaces is described. The most efficient designs and features of the tool's working layer are determined. The operation conditions and kinematical parameters of processing on radial and bridge machines based on distribution of filling index of the tool's surface by working layer and requirements to roughness, reflectance and idiochromatic coloring of processed surface were determined.

*Keywords:* diamond grinding, polishing, natural stone, surface quality.

Надійшла до редакції 07.02.07.