

ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ З ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ СКЛАДНОГО ПРОФІЛЮ**Філатов Ю.Д., Ковальов С.В., Сідорко В.І.***(Інститут надтвердих матеріалів НАН України, м. Київ, Україна)***Вступ**

Полірування поверхонь виробів з природного і штучного каменю до теперішнього часу досить часто здійснюється за допомогою суспензій і паст (оксиду хрому, двооксиду церію, алмазних суб- і мікропорошків), вибір полірувальних порошоків для яких базується на основі експериментального досвіду. Аналіз представлених на ринку України інструментів для обробки будівельних та декоративно-художніх виробів з каменю, що виготовляються провідними виробниками: ДГП «Алмазінструмент» (Україна, Київ), «Композит» (Україна, Київ), «ВД» (Україна, Львів), «ДІ-СТАР» (Україна, Полтава), s.r.l. Super Selva (Італія, Верона), Precision Industries Diamond Tools (Італія), 3M (США), s.r.l. Fabbrica Abrasivi Tiburtina (Італія, Рим), «Епаз» (Білорусь, Ліда) та ін., показав, що використання інструментів для фінішної обробки вказаних виробів є недоцільним із-за високої вартості або неможливості виконання вимог, що висуваються до їх якості [1–2].

Експлуатаційні параметри виробів з природного каменю визначаються саме станом оброблених поверхонь, їх шорсткістю, відбиваючою здатністю, глибиною дефектного шару. Художня й декоративна цінність виробів, а також їх експлуатаційні характеристики, що на пряму залежать від глибини дефектного шару оброблених поверхонь, в значній мірі визначаються технологією їх фінішної обробки, а саме параметрами процесів тонкого (ТАШ), надтонкого (НТАШ) алмазного шліфування і полірування інструментом зі зв'язаними полірувальними порошками. При виготовленні декоративно-художніх і ювелірних виробів з природного та штучного каменю для забезпечення необхідної якості іноді достатньо обмежитись операцією надтонкого алмазного шліфування. Мета роботи полягає в розробці конструкції робочого шару інструмента для фінішної обробки складнопрофільних поверхонь деталей з природного каменю, методів комп'ютерного моделювання і способів виготовлення інструмента.

Сучасний стан проблеми високоякісної фінішної обробки складнопрофільних поверхонь деталей з природного та штучного каменю характеризується окремими успіхами у вирішенні питань, пов'язаних з розробкою нових інструментів зі складною конструкцією робочого шару. Для НТАШ і полірування високоякісних складнопрофільних поверхонь будь-якого профілю з природного каменю використовуються фасонні круги, робочий шар яких утворений з алмазно-полієфірного або абразивно-полієфірного волокна на основі поліетилентерефталату за рахунок його повного або часткового розплавлення [3]. Приривчастий робочий шар, за рахунок якого забезпечується його еквідистантний знос та стала форма його поверхні в процесі обробки на протязі тривалого часу, конструктивно виконується за рахунок канавок спеціального профілю, змінних за глибиною та шириною. При заданій кількості канавок (8 або 4), їх розміри розраховуються в залежності від кривини робочого шару інструмента, режимних і кінематичних параметрів процесу обробки тощо [4–7].

Основний зміст роботи

Розробка конструкції робочого шару інструменту для фінішної обробки складнопрофільних поверхонь деталей з природного каменю. Результати розрахунку ширини канавок, що виконуються на робочій поверхні ролика для полірування складнопрофільної поверхні дозволили виявити зв'язок ширини канавки з величиною лінійного зносу криволінійної ділянки робочого шару в процесі роботи. Показано, що в процесі зношування робочої поверхні складнопрофільного інструменту в процесі полірування деталей з природного каменю тороїдальної або циліндричної форми для забезпечення її еквідистантного зносу необхідно, щоб коефіцієнт заповнення інструмента робочим шаром $k_i(y)$ зменшувався. Зменшення загальної протяжності робочого шару на ділянці з координатою y по відношенню до довжини кола (за визначенням коефіцієнта заповнення) еквівалентно зменшенню ширини канавок в кутовому вимірі, що може бути досягнуте за рахунок програмованого зменшення ширини канавок по мірі збільшення їх глибини.

Комп'ютерне моделювання форми робочого шару інструменту здійснювалось на основі розрахунку інтенсивності зносу та коефіцієнта заповнення його поверхні робочим шаром. Дослідження еволюції форми робочого шару в процесі фінішної обробки складнопрофільної поверхні деталі з природного каменю, профіль якої задано аналітично (тороїдальна поверхня певного радіуса кривини), показують, що радіус кривини інструмента практично не змінюється. Форма обробленої поверхні деталі з природного каменю визначається у відповідності до форми робочої поверхні інструмента з урахуванням її протилежного знаку кривини.

Для випадку обробки складнопрофільної деталі з природного каменю з радіусом профілю $R = 15$ мм, виходячи з результатів розрахунку ширини та глибини канавок (при $N = 8$), що змінюються в процесі зносу робочого шару інструмента, комп'ютерне моделювання за допомогою математичних пакетів програм MathCAD і «КОМПАС» [4, 5] дозволило побудувати 3D модель ролика з приривчастою робочою поверхнею, що наведена на рис. 1, а.

На відміну від відомих конструкцій такого інструмента, які мають канавки однакової ширини, в моделі ролика вона чітко визначена в залежності від координати вздовж осі його обертання і глибини, що змінюється в процесі фінішної алмазно-абразивної обробки складнопрофільної поверхні деталі з природного каменю і, відповідно, зношування робочого шару інструмента.

Використовуючи комп'ютерну модель ролика з приривчастою робочою поверхнею для полірування складнопрофільних поверхонь деталей з природного каменю, за технологією Rapid Prototyping [8] в умовах ЗАТ «Конструкторсько-технологічне бюро верифікаційного моделювання та підготовки виробництва», створеного при Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» (м. Харків), була виготовлена мастер-модель (рис. 1, б).

Для матеріалізації теоретичної 3D моделі було вибрано спосіб Rapid Prototyping (RP) лазерної стереолітографії (SLA – Stereo Lithographics Apparatus), оскільки він забезпечує можливість виготовлення прототипів або виробів на основі 3D CAD проектування не завдяки відділенню, зняттю припуску з заготовки, а шляхом нарощування, пошарового додавання матеріалу, тобто генеративним способом. Нарощування матеріалу при SLA методі відбувається в перехідній фазі від рідини, або в вигляді порошку до твердого стану. Виготовлення мастер-моделі в даному випадку не вимагає ніяких форм та інструментів і не залежить від зносу інструмента при формоутворення різанням, штамповкою або ковкою. Цей спосіб є найефективнішою

складовою інтегрованого процесу швидкісного формоутворення та виготовлення виробів та прототипів, оскільки він дозволяє реалізувати прямий перехід від електронного образу до твердотільної мастер-моделі при мінімальному часі створення виробу довільної, самої складної форми, причому чим складніша конфігурація виробу, тим більші ефективність і переваги процесу [8].

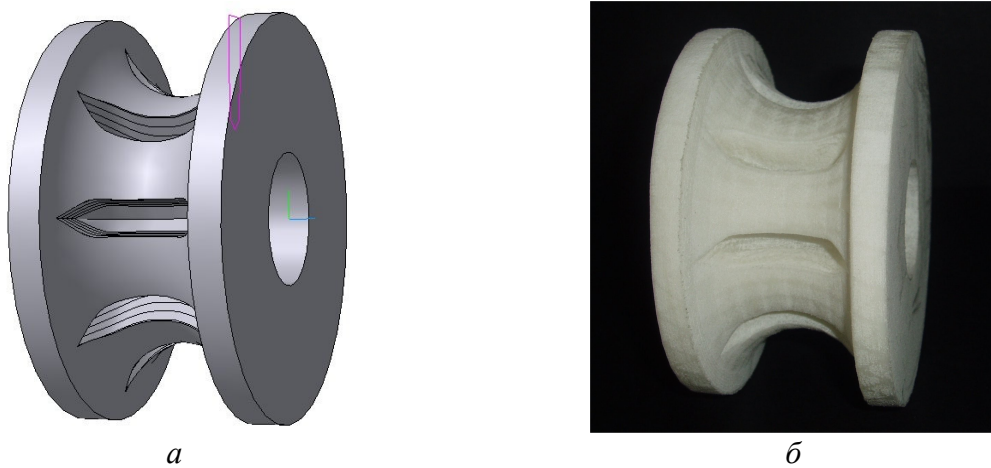


Рис. 1. 3D модель і мастер-модель ролика з переривчастою робочою поверхнею для полірування складнопрофільних поверхонь деталей з природного каменю

Після отримання прототипу за генеративною технологією Rapid Prototyping проводилась верифікація моделі, яка, зазвичай, виконується в такій послідовності: створення 3D CAD моделі – електронного образу прототипу; побудова твердотільного прототипу за технологією Rapid Prototyping Manufacturing (RPM) на устаткуванні для SLA; контроль RPM прототипу для виявлення похибок; корегування 3D CAD моделі і остаточне виготовлення мастер-моделі за виправленою електронною моделлю; перевірка виправленої твердотільної RPM моделі-прототипу на відповідність вимог до її геометричних параметрів форми [8].

Для відтворення інструмента за мастер-моделлю остання була розпиляна спеціальним ультратонким відрізним кругом на дві однакові частини. Ширина пропилю в напрямку перпендикулярному вісі симетрії ролика складала близько 50 мкм. Для створення формоутворюючого оснащення – литвевої форми для виготовлення елемента складнопрофільного полірувального інструменту на кремнійорганічному зв'язуючому одна частина мастер-моделі ролика була «загіпсована» в посудині, в якій було попередньо встановлено стрижень для формування центрального отвору інструмента. В литевій формі були виготовлені окремі симетричні елементи складнопрофільного інструмента на основі кремнійорганічної сполуки Віксинт-К-68, каталізатора K18 та полірувального порошку CeO_2 [5, 9]. Інструмент для полірування складнопрофільних поверхонь деталей з природного каменю, що складався з двох симетричних елементів, наведено на рис. 2.

В промисловому виробництві все більшого використання набувають гнучкі шліфувальні та полірувальні диски на полімерній основі, що виробляються з використанням термоформованого каркасу [2], які характеризуються економічними перевагами та широкими технологічними можливостями створення інструментів різноманітної геометрії.

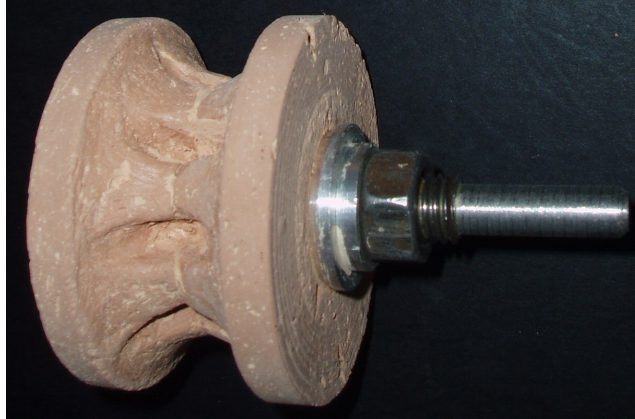


Рис. 2. Інструмент для полірування складнопрофільних поверхонь виробів з каменю

За розробленою нами дослідною технологією виготовлення складнопрофільного полірувального інструмента були сформовані робочі елементи профільного круга на термоформованому каркасі (рис. 1). Форма, кривина робочої поверхні, геометричні розміри і розміри заглиблень на бічній поверхні елементів симетричного ролика (рис. 2, а) розраховані у відповідності до методики розрахунку конструкції робочого шару інструменту для обробки будівельних та декоративних виробів з каменю, викладеної в [4–5]. Характеристика елементів круга на термоформованому каркасі: полірувальний порошок - суперабразив «FR-Remillox», матеріал зв'язуючого - спеціальні термореактивні смоли та полімерні композиції – при оптимальному співвідношенні.

Скориставшись можливостями технології виготовлення інструмента на термоформованому каркасі для конкретного випадку конструювання та реалізації складнопрофільного інструмента для полірування природного каменю, що має вигляд ролика діаметром $D = 50$ мм з радіусом профілю $R = 16$ мм і товщиною ролика $H = 45$ мм, було розраховано конструктивні параметри робочого шару полірувального інструмента у вигляді ролика, виходячи з наступних умов:

1. конструкція ролика – симетрична відносно центрального перерізу;
2. переривчастість робочого шару досягається за рахунок виконання $N = 4$ канавок;
3. робочий шар ролика складається з 6 попарно однакових елементів товщиною 7,5 мм;
4. кожний з елементів виготовляється в термоформованому каркасі;
5. крайні елементи максимального діаметру виконуються у вигляді циліндрів діаметром D ;
6. прорізи в інших елементах виконуються на основі розрахунків ширини канавок в залежності від глибини за 3D CAD моделями [7].

В результаті розрахунків коефіцієнту заповнення поверхні інструмента робочим шаром, при якому досягається еквідистантний знос його робочої поверхні підчас полірування складнопрофільної поверхні деталі з природного каменю, з урахуванням наведених вище умов розраховано профіль канавок, що виконуються на бічній поверхні елементів круга. На рис. 3 наведено залежність ширини канавок від координати y . Розраховано також ширину канавок в кутовому вимірі і в полярній системі координат визначено границі канавок на елементах ролика.

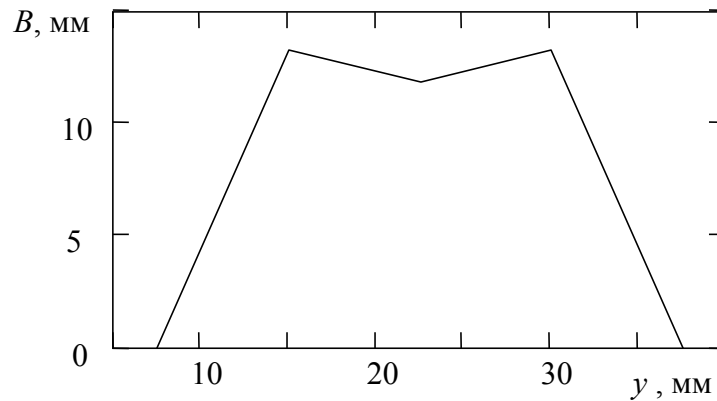


Рис. 3. Залежність ширини канавок на робочій поверхні ролика від координати y

За розробленою технологією виготовлення складнопрофільного полірувального інструмента були сформовані робочі елементи профільного круга на термоформованому каркасі. Форма, кривина робочої поверхні, геометричні розміри і розміри заглиблень на бічній поверхні симетричних елементів ролика (рис. 4 а) розраховані у відповідності до викладеного вище на основі комп'ютерного моделювання конструкції робочого шару інструменту для обробки будівельних та декоративних виробів з каменю, виконаного на термоформованому каркасі [7]. Характеристика елементів круга на термоформованому каркасі: полірувальний порошок - суперабразив «FR-Remillox», матеріал зв'язуючого - спеціальні терморективні смоли та полімерні композиції – при оптимальному співвідношенні.

З окремих симетричних елементів круга, виготовлених на термоформованому каркасі, було зібрано профільний інструмент (рис. 4 б) діаметром 50 мм, товщиною 45 мм з радіусом кривини 16 мм, що застосовувався для полірування фасонного краю плоских виробів та тороїдальних і циліндричних поверхонь деталей у вигляді тіл обертання, виготовлених з кремнеземвміщуючих порід природного каменю (граніту, габро, кварцу, виробного каменю).

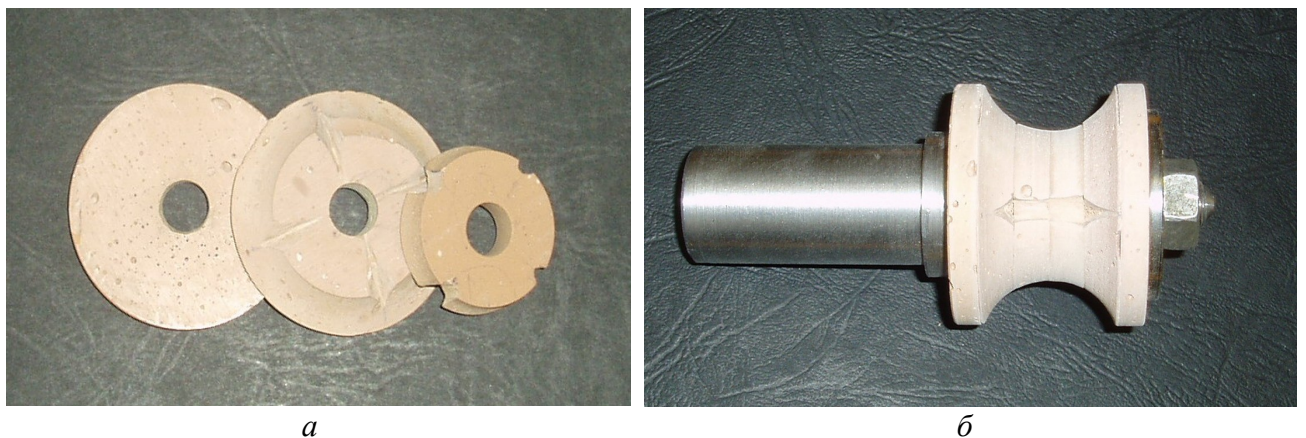


Рис. 4. Складові елементи (а) круга і інструмент (б) для полірування природного та штучного каменю

Крім того, слід відмітити особливості форми канавок, що забезпечують переривчастість робочого шару інструмента у вигляді ролика. Це пов'язане з тим, що залежність ширини канавки від координати визначається добутком двох екстремальних функцій, одна з яких описується рівнянням кола з мінімумом в середній частині ролика, а друга – функцією $[1 - k_i(y)]$, яка має максимум в цій же області. Добуток двох екстремальних функцій з різним знаком кривини буде представляти функцію з одним або двома максимумами в залежності від їх амплітудних значень. При невеликих розмірах складнопрофільного інструмента, для яких значення відношення D/R не перевищує 5, профіль канавки описується сідлоподібною функцією з двома максимумами і відповідає конструкції ролика, що наведена на рис. 4 б. При виконанні канавок на робочій поверхні складнопрофільного інструмента більшого діаметра (при $D/R \approx 9$) їх профіль відповідає конструкції ролика, що наведена на рис. 2.

Висновки

Експериментальна перевірка працездатності описаних вище інструментів при поліруванні деталей із природного каменю з профілем, що являє собою частину кола на тороїдальній або циліндричній поверхні, показує, що робочий шар інструмента зношується еквідистантно, форма поверхні ролика остається незмінною на протязі тривалого часу, а якість оброблених поверхонь задовольняє найсуворішим вимогам.

Список літератури: 1. Сідорко В.І. Наукові основи процесів фінішної алмазно-абразивної обробки природного та синтетичного каменю: Автореф. дис....д.т.н: 05.03.01. – Київ, 2006. – 36 с. 2. Инструменты на термоформированном каркасе для финишной обработки неметаллических материалов / Филатов Ю.Д., Сидорко В.И., Крамар В.Г., Ковалев С.В., Замотаев П.В., Филипович А.Ю. // Сб. научных трудов «Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения». – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2006.– С. 369–372. 3. Инструмент з алмазного і абразивного волокна для фінішної обробки неметалевих матеріалів / Філатов Ю.Д., Крамар В. Г., Сідорко В. І., Ковальов С.В. // Сб. научных трудов «Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент–техника и технология его изготовления и применения». – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2007.– С. 423–427. 4. Филатов Ю.Д., Сидорко В.И., Ковалев С.В. Износ рабочего слоя инструмента при финишной алмазно-абразивной обработке деталей из неметаллических материалов // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. научн.-техн. Сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – Вып. 73. – С. 329–334. 5. Повышение эффективности финишной обработки сложнопрофильных изделий из природного камня / Филатов Ю.Д., Сидорко В.И., Ковалев С.В. и др. // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ ХПІ. – Харків.– 2008.– Вип. 2 (17).– С. 454–459. 6. Ковалев С.В. Повышение эффективности финишной обработки сложнопрофильных деталей из природного камня / В сб. «Надтверді, композиційні матеріали та покриття: отримання, властивості, застосування»: Тези доповідей Четвертої конф. Молодих вчених і спеціалістів, 15-16 жовтня 2008 р., м. Київ: ІНМ НАНУ, 2008.– С. 21–23. 7. Філатов Ю.Д., Ковальов С.В., Сідорко В.І. Вплив кінематичних і режимних параметрів процесу обробки природного та штучного каменю на якість оброблених поверхонь / Матер. 9-го Междунар. научн.-техн. сем. «Современные проблемы подготовки производства, заготовительного производства, обработки, сборки и ремонта в промышленности и на транспорте», 23-27 февраля 2009 г. – г. Свалява.– Киев: АТМ України, 2009.– С. 280–284. 8. Введение в организацию

производства: учеб. Пособие / Э. Весткемпер, М. Декер, Л. Ендоуби, А.И. Грабченко, В.Л. Доброскок; пер. С нем.; под. об. Ред. А.И. Грабченко. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – 376 с. 9. Декларацийний патент 15433 Україна, МПК (2006) B24D3/20. Маса для виготовлення робочого шару абразивного інструмента / Новіков М.В., Філатов Ю.Д., Сідорко В.І., Скрябін В.В., Крамар В.Г., Ковальов С.В., Богатирьова Г.П., Полтарацький В.Г., Нікітін Ю.І; ІНМ НАН України. – Опубл. 17.07.2006, Бюл. № 7.

ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ З ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ СКЛАДНОГО ПРОФІЛЮ

Філатов Ю.Д., Ковальов С.В., Сідорко В.І.

Визначені найбільш раціональні конструкції інструменту для фінішної обробки складнопрофільних поверхонь деталей з природного каменю. Розроблені комп'ютерні моделі роликів з приривчастою робочою поверхнею. Описані способи виготовлення інструменту з використанням технології Rapid Prototyping та на термоформованому каркасі.

ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПРИРОДНОГО КАМНЯ СЛОЖНОГО ПРОФИЛЯ

Филатов Ю.Д., Ковалев С.В., Сидорко В.И.

Определены наиболее рациональные конструкции инструмента для финишной обработки сложнопрофильных поверхностей деталей из природного камня. Разработаны компьютерные модели роликов с прерывчатой рабочей поверхностью. Описаны способы изготовления инструмента с использованием технологии Rapid Prototyping и на термоформованном каркасе.

TOOLS FOR FINISHING PROCESSING OF DETAILS FROM THE NATURAL STONE OF THE DIFFICULT PROFILE

Filatov Y.D., Kovalyov S.V., Sidorko V.I.

The most rational designs of the tool for finishing processing profile-composite surfaces of details from a natural stone are determined. Computer models of rollers with a discrete working surface are developed. Ways of manufacturing of the tool with use the generator technologies Rapid Prototyping and on the thermoformed skeleton are described.

Рецензент: д.т.н., проф. Калафатова Л.П.