

УДК 679.8.

В.В. ПЕГЛОВСЬКИЙ,
кандидат технічних наук
В.І. СИДОРКО, доктор технічних наук
В.Н. ЛЯХОВ, інженер
Науково-технологічний алмазний
концерн "АЛКОН" НАН УКРАЇНИ

Дослідження трудомісткості полірування природного каміння

Частина 1. Основні абразивні матеріали для полірування каменю. Головні вимоги до об- роблюваної поверхні

УДК.679.8. Рассмотрены основные виды абразивных материалов, которые используются для полирования природных декоративных и полудрагоценных камней, сформулированы требования к шероховатости и отражательной способности полированной поверхности этих камней.

The basic types of abrasive materials which are utilized for polishing of natural decorative and semiprecious stone are considered, requirements are formulated to the roughness and reflectivity of the polished surface of these stone.

Ураніше опублікованих роботах, присвячених оброблюваності природного каміння, була запропонована класифікація декоративних та напівдорогоцінних каменів за оброблюваністю, а саме: трудомісткістю (t), енергоємністю (e) та коефіцієнтом відносної оброблюваності (B) у взаємозв'язку з міцнісними властивостями каменів, особливостями їх хімічного та мінералогічного складу [1-4]. Такий розподіл каменів за групами оброблюваності дозволяє призначати технологічні параметри обробки каменів для основних класів модернізованого верстатного (токарного, фрезерного, шліфувального, свердильного) або спеціалізованого каменеобробного (шліфу-

вального, відрізного) обладнання та може бути застосований для технологічних операцій різання, чорнового шліфування та формоутворення, а також чистового шліфування каменю під час виготовлення з нього будівельних, виробничо-технічних, декоративно-художніх та інтер'єрних виробів [5, 6].

Однак, крім згаданих технологічних операцій з обробки каменю, під час виготовлення таких виробів у переважній більшості випадків ще присутня операція полірування, яка має на меті надати поверхням виробів з каменю відповідних параметрів шорсткості, світловідбивних властивостей, а також сприяти вияву текстури природного каменю. Ця операція є останньою (фінішною) в ряді

операцій з обробки природного каменю, і за її результатом часто оцінюють якість виробів з каменю в цілому.

За нашими відомостями, у процесі виготовлення виробничо-технічних та декоративно-художніх виробів з каменю [5] трудомісткість полірування складає 20–25 % від загальної трудомісткості виготовлення таких виробів.

Під час розгляду процесу полірування деякі автори не наголошують на суттєвій різниці процесів шліфування та полірування, вважаючи основною відмінністю цих процесів вид і розмір використовуваного абразиву та конструкцію абразивного інструмента [7, 8].

Інші автори вважають, що внаслідок силової дії інструмента на поверхню виробу з каменю, частинки шламу, які утворюються в результаті цієї дії, рухаються в об'ємі контактної зони, а видалення оброблюваного матеріалу представляється як масоперенос таких частинок. Також розглядають механізм виникнення та поширення дефектів і ушкоджень у поверхневому шарі виробу, зумовлений видаленням частинок шламу і переміщенням границі розділу між інструментом і оброблюваною поверхнею [9].

Полірування природного каменю найчастіше проводять з використанням вільного абразиву, абразивних суспензій та паст, але в деяких випадках, наприклад, якщо є потреба отримати поверхню високої якості, використовують інструмент із зв'язаним абразивом [10].

Абразивна здатність шліфувально-полірувальних матеріалів залежить від їх фізико-механічних і кристалографічних (габітусу) властивостей. Особливе значення має їх властивість розламуватися на гострокутні частини під час застосування. В алмазу ця здатність виявляється максимально.

Вибір абразивного матеріалу залежить від фізичних властивостей оброблюваного каменю, а також від стадії обробки (шліфування або полірування). Твердість абразивного матеріалу, як правило, повинна бути вищою за твердість оброблюваного (за деяким винятком, наприклад, коли алмаз обробляють алмазом).

Зараз абразивні матеріали видобувають або виготовляють штучно, причому деякі синтетичні матеріали можуть бути ефективнішими, ніж природні. Нижче наведено найвідоміші абразивні матеріали.

Природні абразиви: природний алмаз, корунд, інфузорна земля, червоний залізняк, трепел, крейда, а також гранат (альмандин), пемза, кварц, польовий шпат та ін. З названих абразивів для полірування каменю найчастіше використовують такі.

Алмаз (C). Алмазоподібна алотропна форма елементарного вуглеводу, який добувають у корінних (кімберлітових) трубках і розсипних родовищах. Найцінніший за своїми властивостями абразивний матеріал. Кращим вважається його чорний різновид – карбонадо, який добувають у Бразилії і на острові Борнео. Відомі й інші його різновиди: борт і балас – радикально-променистий, сферичний і дрібнокристалічний різновид алмазу. Під цими назвами використовують будь-який непридатний для огранювання алмаз. Уламки алмазу та алмазний порошок використовують для обробки твердого каменю, а також для обробки самого алмазу.

Корунд (Al_2O_3) – кристалічний оксид алюмінію, добувають у розсипах, іноді в рудах. Видобуту корундову руду подрібнюють, збагачують і сортують за розміром зерна. Використовують її в порошках і для виготовлення кругів, брусків і шкірок. Наждак – природний різновид корунду з домішками (гематитом, шпінеллю), може також складатися з корунду і магнетиту – оксиду заліза Fe_3O_4 .

Інфузорна земля – осадова гірська порода, переважно складена окременілими залишками діатомових водоростей. На 96 % складена опалом, використовують у вигляді дрібного порошку для полірування каменю і металу.

Червоний залізняк (Fe_2O_3) – широко поширений мінерал заліза. У чистому вигляді застосовують для полірування скла і заліза.

Трепел – рихла або слабо зцементована, тонкопориста опалова осадова порода. Використовують у вигляді тонкого порошку для полірування каменю і металу.

Крейда – карбонат кальцію, використовують для тонких видів обробки (притирання, полірування) м'яких видів каменю.

Синтетичні абразиви: синтетичний алмаз, двоокис церію, оптичний полірит, оксид хрому, карбід кремнію (карборунд), крокус червоний залізний, а також оксид алюмінію – електрокорунд (білий та нормальний), мінеральний



шлак, гартований сталевий дріб, нітрид бору (ельбор), карбід бору, нітриди кремнію та алюмінію, двоокиси олова і титану та ін. З цих абразивів для полірування каменю найчастіше використовують такі.

Синтетичний алмаз застосовують у різних технологічних операціях каменеобробки, в тому числі для полірування, як правило, у вигляді водних суспензій або алмазних паст (наприклад КВОМ АСМ 5/3-1/0 ГОСТ 25593) [11].

Двоокис церію – один з найефективніших полірувальних матеріалів для обробки каменю. На його основі розроблений абразивний матеріал (полірит), у складі якого двоокис церію (більше 50 %) є основним компонентом спільно з іншими оксидами рідкоземельних металів (зокрема, лантану та ніобію). Також його широко використовують під час обробки скла.

Оксид хрому застосовують для полірування твердих видів каменів (наприклад, групи кварцу), каменів, які мають власне зелене забарвлення (нефрит, деякі види мармуру, змійовик), а також для полірування чорних та кольорових металів.

Карбід кремнію (карборунд) марок 54С (карбід кремнію чорний), 64С (карбід кремнію зелений) використовують для виготовлення абразивного інструменту (кругів, брусків, шкірок), а також для обробки каменю у вільному вигляді (суспензії) та для твердих сплавів, титану, кольорових металів.

Крокус червоний залізний використовують для полірування скла і металу.

Абразивні матеріали розподіляють за фракціями залежно від їхніх розмірів

Таблиця 1. Відповідність маркування абразивних порошоків в мкм та за стандартом FEPA

Абразивні порошки	Субмікро-порошки			Мікро-порошки
Зернистість, мкм	1/0	2/1	3/2	5/3
Маркування за FEPA	1800	1500	1200	1000

(наприклад, порошки алмазу, двоокису церію та ін.). Для полірування здебільшого використовують фракції 1/0-5/3 (субмікропорошки та мікропорошки). У таблиці 1 наведено дані про відповідність маркування абразивних порошоків у мкм та за стандартом FEPA (Федерації європейських виробників абразивів).

Абразивні матеріали для полірування найчастіше використовують у вигляді суспензій. Орієнтовна рецептура абразивної суспензії: вода – 0,5 л, абразивний порошок – 450–460 г. Їх іноді розподіляють за твердістю (надтверді, тверді, м'які), за хімічним складом, а також розміром абразивного зерна (великі або грубі, середні, тонкі, особливо тонкі). Розмір частинок різних абразивів, які використовують для полірування, коливається в межах від 1 до 40 мкм.

Якість полірування та здатність каменю до такої обробки пов'язують з вимірюванням відбивної здатності його полірованої поверхні. Вимірювання проводять блискоміром НІКС-БМ-3 (або ФБ-2 відповідно до ГОСТ 896). Вимірювання ґрунтується на порівнянні відбивної здатності поверхні каменя з еталонною поверхню. За еталонну поверхню беруть поліровану поверхню неорганічного скла, що має певну стабільну відбивну здатність (200 одиниць), на яку настроюють блискомір. Виміри відбивної здатності полірованої поверхні зразка каменю проводять у дев'яти точках через рівні відстані вздовж чотирьох ребер зразка і один – в його центрі [12].

Зразки готують таким чином. З гірської породи вирізують шість зразків прямокутної форми завдовжки 400-250-10 мм у трьох взаємно перпендикулярних напрямках, по два зразки в кожному напрямі. Причому, якщо камінь певного вигляду має декілька різновидів, то випробування проводять для кожного окремо.

Таблиця 2. Розподіл природних каменів за поліруємістю

Категорія поліруємісті	Блиск за блискоміром БМ-3	Найменування гірських порід та родовищ
1	Св.160	Мармури – Кибік-Кордонське, "Буровщина", Коелгинське, Уфалейське, Черновське; габро-діабази – Ропручейське, Авнепорозьке, Другорецьке; граніт – Сюськюянсаарі
2	130-160	Мармури – Пуштулімське, Дуковське; граніти – Карлахтинське, Каменогірське, "Кашина гора", Головирицьке, "Відродження", Сибірське; кварцити і кварцеві пісковики – Шокшинське, Кожимське
3	70-130	Граніти – Ісетське, гранодіорит – Разсохинське; сланець – Нігозерське; конгломерат – Кноррінгське
4	Менше 70	Доломіт – Геналдонське; вапняк доломітизований – Березовське; туф – Лейчинкайське

Зразки шліфують на шліфувально-полірувальних верстатах і доводять їх поверхню до лощеної. Лощену поверхню зразків полірують. Через кожних 10 хвилин обробки вимірюють відбивну здатність поверхні зразків, заздалегідь висушивши і очистивши їх. Поліровку зразка проводять до тих пір, поки виміряне значення граничного блиску відрізнятиметься від попереднього не більше ніж на 1–2 % [12].

Під час полірування зразків застосовують шліфувально-полірувальні верстати моделей СМР-013, СМР-030 або аналогічні. Як інструмент використовують круги повстяні і полірувальні абразивні матеріали типу оксиду олова або оксиду алюмінію.

За результат випробування приймають середньоарифметичне значення результатів паралельних випробувань зразків, вирізаних по кожному напрямку, розбіжність між якими не повинна перевищувати 2 %.

Результати зіставляють з даними таблиці 2 і встановлюють категорію поліруємісті гірської породи. Різновиди гірських порід (вулканічний туф, вапняки, доломіт), які погано поліруються, відносять до четвертої категорії. Вказаний міждержавний стандарт розподіляє природні камені (деякі найбільш відомі їх види, в основному російських родовищ) за поліруємістю (табл. 2) [12].

Однак параметри поліруємісті, які визначені за допомогою цього блискоміру, також залежать від світловідбивних властивостей мінералів, що складають цю гірську породу, їх світлозаломлення і двозаломлення, опалесцен-

ції, іризації, а також особливостей забарвлення.

Також відомі дані вимірювання світловідбивних властивостей каменів за допомогою блискоміра Novo-Gloss Trio [13]. Цей блискомір використовують для вимірювання відбивної здатності плоских полірованих фарбованих або покритих лаком поверхонь металу, кераміки, пластику, паперу, картону та багатьох інших матеріалів.

Більш інформаційним показником якості полірування може служити показник шорсткості. Шорсткість поверхні каменю (середньоарифметичне відхилення профілю – Ra), яка утворюється після полірування та відповідає якісно обробленій поверхні, повинна бути не більше Ra = 0,050–0,063 мкм [5] (11 б клас шорсткості) [14], але в деяких випадках, наприклад, при виготовленні притиральних плит з технічної яшми, шорсткість поверхні може бути Ra = 0,015–0,030 мкм (12 б та в класи шорсткості) [15] (рис. 1). Шорсткість поверхні можна вимірювати різними приладами, наприклад, профілографом-профілометром моделі SJ201 Mitutoyo (Японія) відповідно до ГОСТ 19300.

Для контролю якості операцій полірування під час виробництва різних виробів із каменю виготовляють контрольні зразки шорсткості. Деякі з таких зразків показано на рис. 2.

Таким чином, можна дійти висновку, що для полірування природного декоративного та напівдорогоцінного каменю найбільше використовують такі штучні абразиви – синтетичний алмаз, двоокис церію та оптичний полірит, а

також оксид хрому, які застосовують переважно у вигляді абразивної суспензії, або абразивні пасти для порошків синтетичного алмазу та рідко у вигляді зв'язаного абразиву.

Використання цих абразивних матеріалів за умови дотримання всіх технологічних умов, які вимагає операція полірування каменю, дозволяє отримати шорсткість якісно полірованої поверхні каменів, що добре приймають поліровку, не нижче $Ra = 0,050\text{--}0,063\text{ мкм}$.

Значення відбивної здатності їх полірованих поверхонь може дорівнювати 130–160 відн. од. при вимірюванні блискоміром НІІКС-БМ-3 або 70–200 GU при використанні блискоміра Novo-Gloss Trio.



Рисунок 1. Плита з яшми технічної для притирання оптичних деталей з середньою шорсткістю $Ra = 0,015\text{ мкм}$

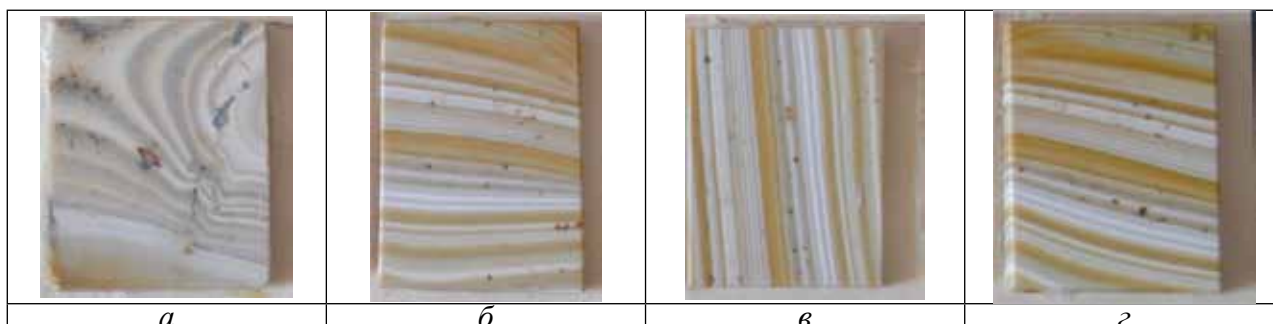


Рисунок 2. Контрольні зразки каменю (кремень) з шорсткістю:

а — $Ra = 0,46\text{ мкм}$; б — $Ra = 0,40\text{ мкм}$; в — $Ra = 0,20\text{ мкм}$; г — $Ra = 0,02\text{ мкм}$

Використана література

1. Пегловський В.В., Сидорко В.І., Ляхов В.Н., Поталико О.М. Оброблюваність природного каміння – об'єктивна основа його класифікації. Частина 4. Трудомісткість обробки деяких видів природного каміння. Вплив міцнісних властивостей каменів на трудомісткість їх обробки // Коштовне та декоративне каміння. – 2010. – № 1 (59). – С. 12–16.
2. Пегловський В.В., Сидорко В.І., Ляхов В.Н., Поталико О.М. Оброблюваність природного каміння – об'єктивна основа його класифікації. Частина 3. Основні поняття алмазної обробки каменів. Енергоємність обробки деяких видів природного каміння. Вплив властивостей каменів на енергоємність їх обробки // Коштовне та декоративне каміння. – 2009. – № 4 (58) – С. 16–20.
3. Пегловський В.В., Сидорко В.І., Ляхов В.Н., Поталико О.М. Оброблюваність природного каміння – об'єктивна основа його класифікації. Частина 7. Урахування сумісного впливу фізико-механічних властивостей, особливостей хімічного та мінералогічного складу природного каміння на його оброблюваність. Побудова моделі для розрахунку оброблюваності природного каміння // Коштовне та декоративне каміння. – 2010. – № 4 (62). – С. 10–15.
4. Пегловський В.В., Сидорко В.І., Ляхов В.Н., Поталико О.М. Оброблюваність природного каміння – об'єктивна основа його класифікації. Частина 8. Класифікація декоративного та напівдорогоцінного каміння за оброблюваністю. // Коштовне та декоративне каміння. – 2011. – № 1 (63). – С. 16–22.
5. Изделия камнерезные ТУУ 26.7–23504418–001:2007. – Введ. 01.05.2007.
6. ДСТУ Б В.2.7-37-95. Строительные материалы. Плиты и изделия из природного камня. Технические условия.
7. В. Хшоншевський. Полірувальні верстати конвеєрного типу. Обробка каменю: частина 14. // Камінь. – 2009. – № 6 (32). – С. 20–22.
8. В. Хшоншевський. Як і чим гладити камінь. Обробка каменю: частина 12. // Камінь. – № 4. (30). – С. 26–29.
9. Сидорко В. І. Научные основы процессов финишной алмазно-абразивной обработки природного и синтетического камня: Дис. д-ра техн. наук: 05.03.01. – К., 2006. – 396 с.
10. Патент 55048 А. Україна, МПК В24D3/28, В24D3/34. Маса для виготовлення робочого шару полірувального інструменту / Новіков М.В., Філатов Ю.Д., Сидорко В. І. та ін.; ІНМ НАН України. – № 2002065044; Заявл. 18.06.2002; Опубл. 17.03.2003, Бюл. № 3. – 4 с.
11. ГОСТ 25593-83. Пасты алмазные. Технические условия. – Введ. 01.01.1984.
12. ГОСТ 30629–99. Материалы и изделия облицовочные из горных пород. Методы испытаний. – Введ. 01.01.2001.
13. Пегловський В.В., Ляхов В.Н., Гелета О.Л., Сергієнко І.А. Дослідження блиску поверхні напівдорогоцінного каміння // Коштовне та декоративне каміння. – 2011. – № 3 (65). – С. 8–11.
14. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. – Введ. 01.01.1985 г.
15. Финишная обработка декоративно-художественных изделий из природного камня / Н.В. Новиков, Ю.Д. Филатов, В.И. Сидорко, В.В. Пегловский // Наука та інновації. – Т. 4. – № 1. – Киев: НАН України. – 2008. – С. 39–44.