

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО“

І. І. Верба
О. В. Даниленко

Інноваційне конструювання
обробного обладнання та
спеціалізованих робіт
**ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ
ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ**

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра,
за освітньою програмою „Технології комп'ютерного конструювання верстатів,
робіт та машин“ спеціальності 131 „Прикладна механіка“*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2020

Рецензенти: *Сідорко Володимир Ігорович, пров. н. с., д-р техн. наук, ст. н. с.
Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України
Скуратовський Анатолій Кирилович, доцент, канд. техн. наук,
доцент КПІ ім. Ігоря Сікорського*

Відповідальний редактор *Струтинський В.Б., професор кафедри конструювання машин
КПІ ім. Ігоря Сікорського д-р техн. наук, професор*

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 2 від 01.10.2020 р.)
за поданням Вченої ради Механіко-машинобудівного інституту (протокол № 1 від 31.08.2020 р.)

Електронне мережне навчальне видання

*Верба Ірина Іванівна, канд. техн. наук, доцент
Даниленко Олександр Васильович, канд. техн. наук, доцент*

Інноваційне конструювання обробного обладнання та спеціалізованих робіт **ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ**

Інноваційне конструювання обробного обладнання та спеціалізованих робіт:
Обладнання для обробки природного каменю. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для
здобувачів ступеня магістра, за освітньою програмою „Технології комп’ютерного
конструювання верстатів, робіт та машин“ спеціальності 131 „Прикладна механіка“;
КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 7,31 Мбайт). – Київ:
КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 288 с.

Даний навчальний посібник має на меті ознайомлення майбутніх фахівців за освітньою
програмою „Технології комп’ютерного конструювання верстатів, робіт та машин“
спеціальності 131 „Прикладна механіка“, які повинні професійно займатися проектуванням
сучасного обробного обладнання (в першу чергу, звісно, традиційно металообробного) та
осучасненням обладнання, яке експлуатується нині на підприємствах України, з особли-
востями конструкцій та використання каменевидобувного та каменообробного обладнання.
Отримана студентами конструкторська підготовка дозволяє скласти досить повне уявлення
про дане обладнання і у разі потреби швидко зорієнтуватись у колі конструкторсько-
експлуатаційних задач. Сучасний фахівець повинен мати універсальну підготовку, особливо
з огляду на поширення невеликих підприємств малого й середнього бізнесу.

© І. І. Верба, О. О. Даниленко 2020

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020

Зміст

Вступ	5
1. Основні відомості про природний камінь та особливості його обробки	10
1.1. Вироби каменеобробної промисловості	11
1.2. Загальна характеристика кам'яних порід	18
2. Процеси та інструменти каменеобробки	23
2.1. Оброблюваність та властивості каменю	23
2.2. Процес різання гірських порід	26
2.3. Процеси обробки каменю	27
2.4. Різальні інструменти для каменеобробки	32
2.4.1. Штрипсові (штабові, смугові) пили	33
2.4.2. Алмазні штрипсові пили	36
2.4.3. Дискові пили, алмазно-дискові пили (алмазні відрізнні круги)	38
2.4.4. Канатні пили, алмазно-канатні пили	48
2.4.5. Алмазно-стрічкові пили	53
2.4.6. Барові пили, алмазні барові пили	55
2.4.7. Порівняльна характеристика методів розпилювання	57
2.4.8. Фрези: торцеві, обкантовувальні, профілювальні, скульптурні	61
2.4.9. Шліфувально-полірувальні круги	70
3. Машини та інструменти добування каменю	86
3.1. Схеми видобутку природного каменю	86
3.2. Спеціальні інструменти для видобутку блочного каменю	92
3.3. Каменерізні машини	97
3.3.1. Машини з дисковими пилами	98
3.3.2. Машини з кільцевими фрезами	104
3.3.3. Машини з гнучкими робочими органами	108
4. Каменеобробні верстати	122
4.1. Каменефрезерувальні верстати	123
4.2. Розпилювальні верстати	124

4.2.1. Штрипсові верстати	126
4.2.2. Дискові каменерізні верстати	148
4.2.3. Розпилювальні верстати з еластичним робочим органом	191
4.2.4. Різання гідроабразивним струменем води	215
4.3. Шліфувально-полірувальні верстати	218
4.4. Виробництво облицювальних плит	234
4.4.1. Процес шліфування-полірування плит	234
4.4.2. Технологічна схема виробництва облицювальних плит	241
5 Обробка методом сколювання. Руйнування ударом	247
5.1. Ударна обробка каменю	247
5.2. Обробка методами механічного розколювання	252
6. Фізико-технічні методи обробки каменю	256
6.1. Динамічні або ударні фізико-технічні способи обробки	257
6.2. Термічна та термодинамічна обробка каменю	258
6.3. Гідроструминна обробка	261
6.4. Хімічна обробка каменю	264
Список літератури	266
Додатки	270
Додаток 1	271
Додаток 2	275
Додаток 3	281
Додаток 4	284
Додаток 5	285

Вступ

Природний камінь займає особливе місце серед будівельних матеріалів: його застосовують як облицювальний та оздоблювальний (оформлення інтер'єрів), для виготовлення декоративних і художніх виробів, в техніці й побуті. Ці обставини зумовлюють розширення номенклатури продукції з каменю, яка випускається, а також вимагають використовувати високодекоративні породи каменю. Зараз у світі нараховують більш за 100 тис. підприємств, які займаються видобутком і обробкою природного каменю. Така значна кількість учасників ринку пояснюється широким асортиментом продукції. Широкий асортимент призводить до того, що переважають невеликі каменеобробні підприємства (у світі в середньому на таких підприємствах працює біля 15 осіб, а у Європі ще менше – 3 особи). Значна кількість різновидів природного каменю зумовлює інтенсивний обмін як сировиною, так і готовою продукцією. У 1999 р. тим чи іншим чином через експортно-імпортні відносини пройшло більш за 50 % від видобутого каменю [8].

Видобуток та виготовлення виробів з мармуру здебільшого концентрується у Європі (Італія, Іспанія, Греція) і їхні внутрішні ринки є значними споживачами. Видобуток граніту здійснюється у значно більшій кількості країн і далеко не всі з них мають розвинену каменеобробну промисловість. За даними [8] протягом ряду років співвідношення видобутку мармуру й граніту складає 57 % і 37 % (6 % на інші породи), так само приблизно сталою є структура ринку імпорту, тобто попит на певну продукцію стабільний: є країни із збалансованим експортом-імпортом та розвинутим виробництвом (Італія, Іспанія та ін.); країни які здебільшого експортують камінь – і як сировину, і як продукцію (Китай, Бразилія, Індія, Туреччина, ПАР, Фінляндія тощо); країни, які ввозять природний камінь (Японія, Німеччина, Франція, Тайвань, США та ін.). Наприклад, мармуру найбільше експортує Італія, а граніту – Індія. Зовсім іншою може бути картина експорту готових виробів (наприклад, в певний період лідерами були Німеччина, Японія, США, Франція, які багато імпортують сировини з природного каменю). Динаміка видобутку і споживання природного каменю є позитивною (якісь країни підтримують свій рівень, а інші стрімко розвивають цю галузь, зокрема, це стосується експорту) і ця тенденція збережеться, якщо не відбудуться якісь події, здатні суттєво вплинути на економіку,

зокрема знизити рівень будівництва, та не будуть створені матеріали, що переважатимуть природний камінь за властивостями й вартістю.

Ринок природного каменю та виробів з нього є прикладом швидкого й стабільного розвитку, однією з галузей, що останніми десятиріччями характеризується щорічним приростом 7-8 %, інтенсифікацією видобутку та споживання твердих порід (граніти), зростанням середньої вартості виробів через їхнє ускладнення і збільшення трудомісткості. На ринку з'явилися нові країни (Китай, Бразилія, Індія та ін.). Одна з тенденцій – уповільнення росту виробництва й споживання природного каменю в країнах Євросоюзу порівняно з іншими регіонами, зокрема з Китаєм, Індією, Бразилією.

На міжнародному ринку природного каменю останнім часом загострюється конкуренція, особливо за рахунок країн азіатського регіону, що примушує компанії здійснювати технічне переозброєння підприємств. Як наслідок, зростають обсяги виробництва і, відповідно, прибутку, але одночасно і пропозиції на ринку природного каменю збільшуються і зумовлюють вимушене зменшення цін для збереження конкурентоспроможності, хоча, звісно, це не розповсюджується на унікальні зразки. Роль лідера довго належала Італії, але зараз вона поступово переходить до Китаю (у 1999 р. вперше випередив Італію за об'ємами видобутку і внутрішнього споживання).

Не дивлячись на постійну конкуренцію із різними штучними імітаціями, які з'являються на ринку, прогнозується подальше зростання виробництва й споживання природного каменю (стабільно 6-9 % щорічно), широке впровадження технологій з використанням алмазного інструменту й фізико-хімічних методів обробки каменю та видобуток і обробка порід, які раніш не використовувались, бо є дефіцит невідновлюваних кольорових порід типу мармуру і він буде зростати.

Україна має близько 5 % світових ресурсів природного декоративного каменю, займаючи при цьому лише 0,4 % площі світової суші. Майже одна третина (200 тис. км²) території держави припадає на Український щит, який складається переважно з унікальних за своїми забарвленням та текстурним малюнком гранітів, діоритів, лабрадоритів, габро та інших різновидів гірських порід, і є тектонічно-стабільним. Ці породи мають більшу міцність порівняно з індійськими, китайськими й бразильськими аналогами. Таких великих масивів

порід, переважно гранітних, які виходять майже на поверхню, в світі всього два – в Україні (смуга шириною 200 км та довжиною біля 1000 км) та в Карелії (Росія).

Власна сировинна база України сприяє розвитку каменеобробної промисловості. Каменеобробна промисловість України забезпечує щорічне виготовлення 1,8-2,1 млн м² облицювальних плит і різних виробів з каменю. Номенклатура кам'яної продукції в Україні з кожним роком розширюється. Основним її видом залишаються облицювальні плити. Збільшуються обсяги виготовлення архітектурно-будівельних, ритуальних, дорожньо-будівельних, художньо-естетичних кам'яних виробів.

Україна лишається однією з провідних країн-постачальників декоративного каменю на світових ринках, зокрема блоків досить високої якості, слябів (заготовки товщиною до 60 мм, що їх отримують при розпилюванні блоків, з необкантованими краями, розмірами, які відрізняються для різних сторін, тобто заготовки не є прямокутними), плитки з граніту, габро, лабрадориту. Цю продукцію експортують до європейських, азіатських, північноамериканських країн. Об'єми видобутку й обробки декоративного каменю рік від року зростають, хоча і є недостатніми і не покривають потребу. Але порівняно із тим, що протягом тривалого часу ми спостерігали руйнування вітчизняного виробництва на фоні зростання імпорту продукції каменевидобувної та каменеобробної промисловості, останнім часом ситуація почала змінюватися на краще. Сировина, що має

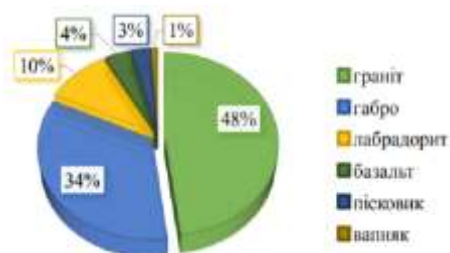


Рис. 1 Обсяги експорту з України декоративного каменю у 2016 р. [31].

якість нижче (і це великі об'єми), здебільшого споживається на внутрішньому ринку і не підлягає експорту. Фінансування каменеобробки є недостатнім, обладнання (не обов'язково нове), яке придбане здебільшого за кордоном в Італії, Франції, Туреччині, Німеччині (наприклад, на наших каменедобувних підприємствах використовується імпортне обладнання, що випускається закордонними фірмами "Marini", "Tamrock", "Pellegrini",

"Perfora", "Caterpillar" та ін.), має кращі виробничо-технологічні показники порівняно з вітчизняним, а обладнання, яке лишилось з часів Радянського Союзу є неефективним. В Україні з'явилися власні виробники обладнання (наприклад, у Житомирі, Дод. 5), але це

здебільшого невеликі підприємства, які потерпають без підтримки держави. Високоякісний інструмент, якого потребує сучасне обладнання, не виробляється в Україні (хоча є досить цікаві розробки й досвід, наприклад, Інституту надтвердих матеріалів НАН України), а імпортований інструмент значно збільшує собівартість продукції, що випускається. Взагалі серед каменеобробних підприємств України можна виділити як великі компанії (десь більше 10) із сучасним імпортованим обладнанням, так і середні компанії (є майже у всіх обласних центрах) і маленькі приватні підприємства, що знаходяться переважно у місцях видобутку каменю. Деяка інформація про існуючі українські компанії, які займаються каменем, подана у додатку 5.

Станом на 2004 р. в Україні розроблювалось 169 родовищ граніту, габро, лабрадориту, через кілька років їх вже більш за 200 (основні регіони – Житомирська (зосереджено майже 45 % загальних запасів декоративного каменю України – тут знаходиться 117 родовищ), Миколаївська (9 %), Закарпатська (8 %), Черкаська, Кіровоградська, Вінницька, Дніпропетровська та Донецька області, в перших п'яти сконцентровані 80 % розвіданих родовищ), діють 60 кам'яних кар'єрів з об'ємом виробництва 650-700 тис. т [18, 32]. Більш за 100 видів та забарвлень каменю були офіційно зареєстровані як торгові марки. Більш за 150 компаній займаються видобутком декоративного каменю, а більш за 2000 – його обробкою (на 2008 р. – більш ніж 100 підприємств виробляють саме блочний камінь). Приблизно 500 підприємств здатні здійснювати експортні поставки каменю [15, 32]. Високі ціни та недостатня якість готових виробів гальмують просування на світовий ринок і експортується переважно сировина. Середні ціни на імпортований камінь з натурального каменю в Європі вдвічі нижчі ніж на оброблений камінь (станом на 2008 р.), а у 2016 р. 37 % експортованого каменю – це сировинні блоки (товар, який має мінімальну додану вартість) [18]. Потреба у декоративному камені задовольняється лише на 25-30 % і, на жаль, його видобування супроводжується значними втратами. Згідно з аналізом статистичних даних 2016 року, майже половина експортованого декоративного каменю припадає на граніт, 34 % – габро, 10 % – лабрадорит.

За експертними оцінками Україна може в 1,5-2 рази збільшити експорт продукції каменеобробки, але актуальним є підвищення продуктивності і якості виробів, що є неможливим без впровадження нових технологій та сучасного обладнання.

Треба відзначити важливість так званого „супутнього видобутку“, тобто видобутку блоків у щебневих кар'єрах на тих ділянках, які мають незначну тріщинуватість. До останнього часу достатньої уваги не приділялось цій проблемі, хоча економічна доцільність не викликає сумнівів: при майже однакових витратах на видобуток вартість одного кубу щебню (8-10 \$ США) в десятки разів менша за вартість одного куба блока природного декоративного каменю (180-600 \$ США) [18]. Таким чином можна добувати до 20 % блочної продукції. Ж.А. Казарян відзначав ще у 2000 р. [15], що найбільш інтенсивно зростає видобуток та споживання твердих порід, вироби з каменю дорожчають за рахунок ускладнення форм, що збільшує трудомісткість.

Таким чином, бачимо, що неувага до каменевидобувної та каменеобробної галузей України є ніщо інше як злочинна недбалість. Розвиток та державна підтримка вказаних галузей принесуть нашій державі неабиякі дивіденди, особливо в разі експорту не сировини, а готових виробів. Тобто перед нашою промисловістю стоїть задача грамотної експлуатації імпортного каменевидобувного та каменеобробного обладнання і, бажано, створення й випуск власного як обладнання, так і алмазного інструменту, тим більш, що є база для цього, зокрема, відповідні розробки й дослідження, наприклад, Інституту надтвердих матеріалів НАН України. Слід також звернути увагу на підготовку відповідних інженерних кадрів (в Україні здебільшого увагу приділяють підготовці фахівців у гірничо-видобувній промисловості).

Даний навчальний посібник має на меті ознайомлення майбутніх конструкторів з кваліфікацією інженерів-механіків спеціальності 131 «Прикладна механіка», які повинні професійно займатися проектуванням сучасного обробного обладнання (в першу чергу, звісно, традиційно металообробного) та осучасненням обладнання, яке експлуатується нині на підприємствах України, з особливостями конструкцій та використання каменевидобувного та каменеобробного обладнання. Отримана студентами конструкторська підготовка дозволяє скласти досить повне уявлення про дане обладнання й у разі потреби швидко зорієнтуватись у колі конструкторсько-експлуатаційних задач. Сучасний фахівець повинен мати універсальну підготовку, особливо з огляду на поширення невеликих підприємств малого й середнього бізнесу.

1 ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПРИРОДНИЙ КАМІНЬ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЙОГО ОБРОБКИ

Широке використання природного каменю у промисловому та цивільному будівництві за умови наявності різноманітних штучних облицювальних матеріалів зумовлено унікальним поєднанням властивостей:

- декоративність;
- довговічність;
- міцність;
- погодостійкість.

Сприйняття виробу, особливо архітектурної споруди, визначається не лише самим виробом чи композицією будівлі, а й значною мірою різновидом використаного каменю, його фактурою, тобто видом обробки та її якістю. Декоративне поєднання порід різного забарвлення й по-різному обробленої чи збереженої грубої рельєфної поверхні значно посилюють сприйняття архітектурної композиції і інтер'єру, роблять акценти на певні особливості. Вартість натурального каменю чимала, що й визначає певною мірою область його використання.

Висока вартість певний час була деяким обмеженням, яке відображувало низький рівень технічної оснащеності каменеобробних підприємств та технології добування і обробки каменю. Революціонізуючий вплив на каменеобробну промисловість мало ефективно використання алмазних інструментів та прогресивних технологічних процесів обробки, створених на їх базі. Ще у XIX ст. було розроблено метод буріння каменю інструментом, на якому були закріплені алмази. На початку XX ст. алмази почали використовувати у дискових та штабових (полосових) пилах для розпилювання та обкантивання блоків. Якісні зміни відбулися у 50-ті роки, коли замість алмазних зернин розміром 2-3 мм сталеві корпуси інструментів почали оснащувати сегментами з подрібнених природних алмазів та металевого порошку, що стало можливим завдяки досягненням порошкової металургії.

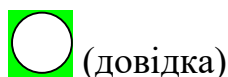
На початку 70-х років почали впроваджувати процеси алмазного шліфування та полірування каменю.

Основні переваги алмазних інструментів:

- висока продуктивність обробки, яка перевищує показники традиційних інструментів на основі карборунду у 3-5 разів;
- розмірна стійкість, яка перевищує стійкість традиційних інструментів у 50-100 разів;
- зростання точності виконання операцій;
- поліпшення якості обробленої поверхні.

Як наслідок використання алмазних інструментів з'явилися та почали розвиватися потокові методи виготовлення облицювальних виробів з природного каменю.

У СРСР важливим фактором розвитку каменеобробки стало опанування промислової технології виготовлення синтетичних алмазів (1961р.), які за фізико-механічними властивостями навіть переважають природні. У 1967 р. вийшла урядова постанова про розвиток каменеобробної промисловості, якою розпочався новий етап, що характеризувався широким впровадженням високоефективних алмазних інструментів, прогресивних технологій, зокрема, імпортного обладнання та поточкових ліній, та створенням власних високо-продуктивних верстатів (наприклад, потокова лінія для виробництва облицювальних плит: продуктивність 100 тис. м² на рік по мармуру та 25 тис. м² по граніту).



Виробництво облицювальних плит в СРСР:

Виробництво плит (у % до 1965р.)	1965	1970	1975
Всього	100	200	345
Із них:			
гранітних	100	150	257
мармурових	100	200	408
вапнякових та туфових	100	260	370

1.1 ВИРОБИ КАМЕНЕОБРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

З гірських порід отримують вироби правильної форми певних розмірів (блоки, штучний камінь, плити, бруси), профільовані вироби, камінь у вигляді шматків неправильної форми (бут, щебінь тощо).

Каменеобробна промисловість випускає наступні види виробів із природного каменю:

- облицювальні плити;
- облицювальні декоративні плити;
- архітектурно-будівельні вироби;
- вироби для дорожнього будівництва;
- вироби народного вжитку;
- технічні вироби

Облицювальні плити, архітектурно-будівельні вироби та інша продукція з каменю виготовляються з блоків, які видобувають з масиву гірських порід. Форма, габаритні розміри, об'єм, якість лицьової поверхні блоків, фізико-механічні властивості породи підпорядковуються вимогам стандартів. Перелік стандартів наведено у Додатках (Додаток 1). Горну породу оцінюють додатково за декоративністю й складом. Блоки мають форму прямокутного паралелепіпеду довжиною від 0,2 до 2,8 м, ширина й висота становлять від 0,2 до 2,0 м. За об'ємом поділяються на 5 груп. Можуть бути пиляні або колоті (хоча б одна з граней утворена розколюванням). Відхилення від перпендикулярності суміжних граней не перевищує 60 мм на 1 м висоти для пиляних блоків та 110 мм для колотих. Обмежено також глибину сколювань ребер, довжину сколювання відбитого кута та сумарну на 1 м ребра, висоту виступів і глибину западин. Не припустимою є наявність більш за одну тріщину довжиною до третини найменшого розміру грані. Вимоги за фізико-механічними властивостями стосуються межі міцності при стисканні, морозостійкості, зниження міцності в умовах насичення водою (в середньому становить 0,65-0,7, для порід високої міцності – 0,8) [2]. Перевіряють придатність блоків для виробництва плит, які застосовують у конструкціях, що контактують із ґрунтом (парапети, цоколі тощо), здатність до стирання – для застосування для сходів і долівок (враховують інтенсивність руху – кількість осіб на годину, які проходять сходами).

Облицювальні вироби є основним масовим видом продукції. Вони використовуються все ширше у промисловому та житловому будівництві. Найширше використовують пиляні плити. Основні їх розміри та технічні вимоги до них, методи випробувань

правила приймання, маркування, пакування, транспортування та збереження визначені ДСТУ (ГОСТ 9480-77).

Облицювальні плити класифікують за лінійними розмірами (за шириною) на 5 груп. Наприклад, плити І групи мають ширину 800-1200 мм за товщини 20, 25, 30 мм, плити V групи – смужка й шашка – мають довжину 20-300 мм, товщину 10, 15, 20, 25, 30 мм. Довжина плит повинна бути не менша за ширину і не перевищує 1500 мм. Розміри за довжиною, шириною та висотою повинні бути кратні 10. Для плит з мармуризованого вапняку, туфу, вапняку-черепашнику, лабрадориту за узгодження з архітекторами припустимо виробництво плит товщиною до 40 мм. Облицювальні плити виготовляють прямокутні і квадратні з обрізаними крайками, за спеціальним замовленням – косокутні чи довільної форми. Лицьова поверхня плит полірована (з дзеркальним блиском), лощена (гладка, матова, без слідів обробки, повністю виявлено малюнок), шліфувана (рівномірно-шерхла поверхня із слідами обробки й висотою нерівностей до 0,5 мм), термооброблена (шерхла поверхня із слідами луцення), оброблена ультразвуком (матова поверхня з виявленим малюнком), пиляна (А або Б, нерівномірно шорстка, висота нерівностей до 3 мм). Всі плити за винятком тих, що з білого мармуру, можуть бути склеєні по місцю зламу водостійким клеєм. Встановлено припустимі відхилення розмірів, площинності, кутів та якості лицьових поверхонь, розмір та кількість сколів на ребрах тощо [2].

Облицювальні декоративні плити виготовляють з використанням природного каменю та неорганічних (цемент) або синтетичних (епоксидні та інші смоли) в'язучих матеріалів. Для виготовлення штучних плит можуть застосовуватись відходи переробки гірських порід та виробництва щебню із використанням синтетичних смол в якості в'язучого.

Вони бувають (ГОСТ 24099-80):

І – пресовані або формовані;

II – пиляні з штучно сформованих блоків;

III – склеєні із шматків каменю правильної або довільної форми.

Виготовляють їх прямокутними. Вони можуть мати мозаїчну чи орнаментальну структуру.

Сучасні технології призвели до створення нового виробу з натурального каменю – так званого кам'яного шпону або гнучкого каменю (рис. 1.1). Це дуже тонкий (0,1-0,2 мм) шар каменю, який за спеціальною технологією з використанням синтетичних (поліефірних) смол наносять на гнучке скловолокно. Про цьому зберігається природна міцність каменю, але його можна застосовувати на криволінійних чи опуклих поверхнях, бо товщина пластини становить 0,8-2 мм при вазі 1,2-1,6 кг/м². Може виготовлятися також із штучного каменю, але основною сировиною є сланець – порода, що має горизонтальні тонкі пластини мінералу і легко розшаровується. Використовують в архітектурі й дизайні як оздоблювальний матеріал (навіть оздоблення автомобілів та яхт), а також у місцях і на поверхнях, де є неможливим або не рекомендованим оздоблення плиткою з натурального каменю (наприклад, через значну вагу, розміри, товщину). Легко наклеюється на будь-які поверхні – металеві, дерев'яні, бетонні тощо [<http://www.ecoslate.com.ua/>]

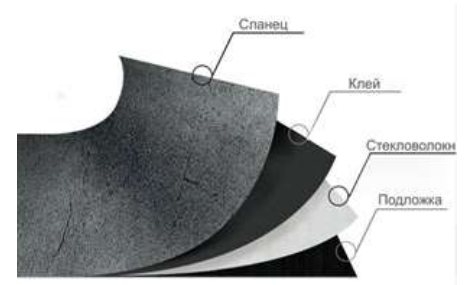


Рис. 1.1 Кам'яний шпон

Кам'яний шпон отримують розщепленням плити з натурального каменю на тонкі шари. Зазвичай отримують листи досить великого формату, при тому на кожному повторюється візерунок плити.

Кам'яний шпон може бути „прозорим“ (насправді напівпрозорим), якщо в якості підкладки застосовують епоксидну смолу. Якщо всередині такого листа розташувати джерело світла, то текстура каменю створює дуже гарний світловий ефект.

Кам'яний шпон з натурального каменю має переваги перед шпоном з штучного каменю: міцність, довговічність, екологічність (позитивний вплив на здоров'я і психіку людини, яка живе у помешканні, оздобленому шпоном), хороша тепло- і звукоізоляція, вогнестійкість, водонепроникність, морозостійкість, сталість до перепаду температур та до опадів.

На сьогодні єдиним вагомим недоліком є висока вартість виробництва. Найближчі аналоги кам'яного шпону виготовляють на основі синтетичних полімерів і також є вартісними (шпон Zikam Stone).

Архітектурно-будівельні вироби з каменю, що виготовляють згідно креслень, використовують для будівництва монументальних споруд, а також для оздоблення будівель та споруд. Розрізняють:

- цокольні плити (пиляні чи колоті),
- пиляні плити для підвіконь, сходів;
- пиляні та колоті парапети прямокутної форми та колоті криволінійні парапети;
- складно-профільні вироби (колони, карнизи, балясини, кулі, обрамлення порталів, деталі, що виготовляються за індивідуальними замовленнями (елементи мостів, набережних тощо).

Так само як для плит, встановлені припустимі відхилення розмірів і якості окремо для пиляних та колотих виробів [2].

Штучні камені для кладки „мідіс“ (шарувата кладка без штукатурки з грубо колотих чи тесаних каменів) з базальтів чи туфу. Мають чисто оброблені смуги не менш за 20-30 мм на горизонтальних гранях (постіль), бічні грані скошені на 20-30 мм. Виступи тесаного каменю (фактура скали) для лицьової кладки не перевищують 60 мм. Рельєф скали не входить до ширини каменю. Довжина штучних каменів 300-600 мм, висота 300 мм, ширина 200 мм. Виготовляють також *колоті* облицювальні камені з граніту, пісковіку, вапняку для кладки без правильних рядів й *стінові* камені, що їх випилюють з блоків-заготовок. Висота колотих облицювальних каменів 150-400 мм, співвідношення довжини й висоти 1.5-2; 3; 5-6 (подовжені камені не виготовляють з граніту). Розміри стінових каменів $h \times b \times L$: 188×190×390 мм, 188×240×490 мм, 288×190×390 мм. Припустимі відхилення в межах $\pm 5-12$ мм залежно від призначення [2].

Вироби для дорожнього будівництва:

Бортові камені – пиляні та колоті, прямо- та криволінійні (ГОСТ 6666-81). Відповідають в першу чергу вимогам морозостійкості (за винятком каменів з порід, що мають водопоглинання менш за 0,5 %) й міцності при стисканні, додаткова вимога – стійкість до солі. За формою можуть бути прямолінійні або криволінійні. Мають висоту 200, 300, 600 мм, ширину в межах 80-200 мм, довжину 700-2000 мм. Фактурна обробка (пиляння, термообробка, бучардування з глибиною впадин 5 мм) є на частині

поверхонь – верхня горизонтальна грань, зрима лицьова частина вертикальної грані, смужки шириною 20 мм по крайках торцевих і вертикальних граней, фаски.

Брущаті камені для дорожнього покриття. Виготовляють його у формі зрізаної піраміди з прямокутною основою, а при механізованому виробництві – у вигляді прямокутних паралелепіпедів (ГОСТ 23668-79). Вихідною сировиною є породи відповідної міцності та морозосталості.

Вироби народного вжитку:

- Сувеніри, свічники, попільнички, вази, чорнильні набори та ін.;
- культурно-побутові вироби (столики, камінні ґрати, декоративні полиці та інші прикраси інтер'єру);
- ритуальні вироби (надгробки, меморіальні дошки).

Надмогильні пам'ятники – отримують розпилюванням чи використовують колоті практично з усіх видів облицювальних каменів високої й середньої міцності Сировина в усіх випадках визначається призначенням виробів.

Необхідно звертати увагу не лише на зовнішні переваги (колір, структура, малюнок тощо), а й на фізико-механічні властивості обраної породи, ступінь однорідності партії, суміщуваність різних порід каменю між собою та з іншими матеріалами. Варто пам'ятати, що поверхня природного каменю може змінитися під впливом довкілля.

Технічні вироби з природного каменю:

- **гарнітура для розмелювання** деревини та целюлози на підприємствах целюлозно-паперової промисловості, для розмелювання паперової маси. Особливі вимоги: пористість (вміст пор 0,5-5 мм становить 10-20 %), міцність при стисканні у водонасиченому стані та на удар, здатність до стирання й зношення;
- **вали, вальці, жорна**, кулі, котки – з високоміцних порід (якщо працюють із частотою обертання вище 700 хв-1 – лише з дрібнодисперсного граніту), за спеціальними вимогами за монолітністю, складом і структурою (наприклад, не припустимі вкраплення великих зернин польового шпату у вигляді плям діаметром більше за 15 мм). Вимоги до фізико-механічних властивостей залежать від типорозмірів: діаметр виробу більше чи менше за 1500 мм;

- **електротехнічні дошки** з мармуру, доломітів, перекристалізованих вапняків (довжина й ширина 100-1000 мм, товщина 20, 25, 30 мм);
- **кислотнo-витривалі** вироби для футерування хімічної апаратури. Основна вимога – кислотостійкість, відсутність тріщин та включень мінералів низької кислотної стійкості.

Природні кам'яні матеріали і відходи від їхнього видобутку є цінною технологічною сировиною для виробництва наповнювачів, в'язучих, бетонів, декоративних каменебетонів, керамічних, скловидних, волоконних, спінених та інших штучних матеріалів і виробів із заданими властивостями для використання у будівництві й промисловості.

За **комплексного використання** облицювальної сировини виготовляють значний асортимент продукції з відходів каменевидабування й каменеобробки: бруківка, шашка, садовий бортик, камінь бутовий (використовують для фундаментів та стін споруд), мармурова крихта, вапнякова мука, наповнювачі бетонів, гуми, пластмас та ін.. Частина підприємств зосереджена на виробництві гранітного щебеню. Там висаджують породу, після чого використовують стаціонарне та мобільне дробильно-сортувальне обладнання. Однак деякі власники кар'єрів, інвестори все частіше вкладають серйозні кошти в розробку гранітних і мармурових кар'єрів для виробництва блоків. Блоки в подальшому проходять багатоступеневу обробку, перетворюючись за допомогою різання у вироби з каменю. Обробка блоків не завжди потрібна. Часто камінь продають блоками, тонко нарізаними слябами (отримані з блоків плити, які не є готовим виробом), заготовками з розпилених на частини блоків.

У видобувних кар'єрах вихід блоків невеликий, а кількість відходів значна. Відходи у великих обсягах перероблюють у щебінь, який характеризується певними показниками якості (зерновий склад за розміром і формою зернин, вміст часток слабких порід (визначається призначенням, становить 10-20 % по масі), глини й пилу ($\approx 0,25$ %, знижують міцність бетону й залізобетону), морозостійкість, щільність, водопоглинання тощо. Щебінь використовують для виробництва бетону, в автодорожному будівництві, для баластних шарів залізничних шляхів. З відходів виготовляють також дроблений пісок для будівництва. Відходи каменевидабування гіпсу, вапняку, доломіту доцільно застосовувати як сировину чи добавку при виробництві цементу та інших в'язучих (не повинні містити сторонніх домішок, таких, як кремій, кварц, пісок). Мармурна

крихта (одноколірна і багатоклірна) отримала застосування при виготовленні мозаїчних долівок, сходів, підвіконь. Окремі види природних каменів є сировиною для виробництва борошна для вапнування ґрунту. Відходи каменедобування придатні для виробництва матеріалу біофільтрів для очищення каналізаційної води перед скиданням її у водойми загального користування. Відходи від видобування кварциту й туфу можуть використовуватись для виробництва вогнетривких матеріалів різного призначення (футеровка тиглів індукційних печей, ківши для розливання сталі, тощо). Відходи туфу є наповнювачем для пластмас, гуми, різних органічних компаундів.

1.2 Загальна характеристика кам'яних порід

Україна становить за площею 0,4 % земного суходолу і при тому має 5 % світових запасів каменю, адже 1/3 площі України – це поклади граніту, габро, лабрадориту тощо. Отож питання видобутку й обробки каменю має неабияку важливість для України й при належному вирішенні може становити значну статтю прибутку.

Кам'яні породи різняться за походженням, мінеральним складом, текстурою та структурою, фізичними характеристиками й технічними якостями.

Генетична класифікація поділяє кам'яні породи за походженням:

- вивержені (граніти, діорит, габро, лабрадорит, базальт, туф);
- осадові (пісковик, гіпс, вапняк);
- метаморфічні (мармур, кварцит, польові шпати, тальк).



Граніти – одна з найрозповсюдженіших гірських порід. Складається головним чином з польового шпату, кварцу та слюди, має зернисто-кристалічну структуру. Добре оброблюється ударними методами та сколюванням. Розпилюється сталевими штрипсами з присипанням металевого дробу, алмазними штрипсами та дисками (у випадках малого вмісту кварцу). Добре шліфується та полірується абразивними й алмазними інструментами.

Використовують для оздоблення долівок.

Базальти – найрозповсюдженіші з вулканічних порід, які утворилися після застигання вулканічної лави. Мають велику міцність, великий вміст скла. Добре оброблюються

твердосплавним та алмазним інструментом, тож є розповсюдженими як облицювальний матеріал.

Туфи вулканічні – пористі кам’яні породи, складаються з продуктів вулканічних викидів у вигляді дрібних уламків, які ущільнились. Різноманітність забарвлення, декоративність, порівняно мала об’ємна вага й хороші теплотехнічні властивості у поєднанні з довговічністю та легкістю обробки – все це зумовило широке використання як личкувального матеріалу.

Недолік: висока абразивність.

Мармур – утворився з вапняків під впливом високих температур та тисків у товщі земної кори, що викликало перекристалізацію вапняків. Мармур легко оброблюється алмазними інструментами (розпилюється, шліфується та полірується). Собівартість облицювальних плит з мармуру нижче, ніж гранітних.

Пісковик – менш ефектний, але також має широку кольорову гаму і при тому значно дешевший.

Гіпс (гіпсовий камінь) – осадова порода хімічного походження ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Дуже декоративний, використовується переважно для дрібних поробок, хоча придатний для облицювання внутрішніх приміщень і навіть фасадів будівель.

Тальковий камінь утворився як наслідок впливу гарячих джерел на ультраосновні породи. Використовують переважно для виробництва художніх виробів (вази, чаші і т. п.). Дуже різноманітний за забарвленням.

Переваги, недоліки та область застосування різних порід каменю наведені у табл. 1.1, а і класифікація порід за твердістю подана у Додатку 2 [20].

Таблиця 1.1

Основні переваги, недоліки та рекомендоване застосування кам’яних порід

Кам’яні породи	Основні переваги	Основні недоліки	Рекомендоване застосування
Граніт, гранодіорит	Декоративність, можливість отримати будь-яку фактуру поверхні, однорідність структури, довговічність, добрий опір корозії, спираю, розповсюдженість родовищ	Значні трудовитрати на видобуток і обробку, висока вартість виробів	Плити: облицювальні, цокольні, для підлоги; сходи, карнизи, колони, бази колон, профільні вироби для облицювання порталів, колон і карнизів, тумби, парапети та ін.

Верба І.І.
Обладнання для обробки природного каменю

Кам'яні породи	Основні переваги	Основні недоліки	Рекомендоване застосування
Габро, діабаз	Декоративність, можливість отримати будь-яку фактуру поверхні, довговічність, добрий опір корозії	Значні трудовитрати на видобуток і обробку, висока вартість виробів	Плити: цокольні, підвіконні; парапети, карнизи, колони, сходи, профільні вироби
Лабрадорит	Декоративність, можливість отримати будь-яку фактуру поверхні, довговічність, добрий опір корозії	Значні трудовитрати на видобуток і обробку, висока вартість виробів	Плити: цокольні, підвіконні; парапети, карнизи, колони, сходи, профільні вироби
Діорит	Дуже довговічний, добре чинить опір стиранню	Недостатньо добре полірується, дає жирний блиск, без чіткого віддзеркалювання, обмежена кількість родовищ	Плити: цокольні, підвіконні; для підлоги; профільні вироби, сходи, парапети, карнизи, колони, бази колон, тумби, балясини
Туф	Декоративність, порівняно невисокі витрати на видобуток і обробку, морозостійкість, добрий опір корозії, довговічність, добра звуко- і теплоізоляція	Схильність до забруднення в умовах заповненого середовища обмеженість поширення,	Плити облицювальні, стінові блоки і камені
Пісковик	Поширеність родовищ		Плити: цокольні, для підлоги; ступені, бази колон, стіновий камінь і блоки
Кварцит	Декоративність, широка кольорова гама, однорідність тону забарвлення довговічність, добрий опір корозії,	Значні трудовитрати на видобуток і обробку, мале число родовищ з монолітним заляганням породи без тріщин	Плити: цокольні, для підлог (обмежено); бази колон, парапети, сходи (обмежено), профільні та декоративні вироби
Білий і світло-сірий мрамур, мармурізований вапняк	Декоративність, різноманітність забарвлення і малюнок	Схильність до корозії	Плити: облицювальні, цокольні, підвіконні; ступені, проступи, карнизи, портали та

Верба І.І.
Обладнання для обробки природного каменю

Кам'яні породи	Основні переваги	Основні недоліки	Рекомендоване застосування
	ка, можливість отримання будь-якої фактури поверхні		інші профільні вироби, парапети, колони, декоративні вироби
Кольоровий мрамур	Декоративність, різноманітність забарвлення і малюнка, можливість отримання будь-якої фактури поверхні	Схильність до корозії, низька морозостійкість	Плити: облицювальні для інтер'єру
Вапняк	Однорідність кольорового тону, невисока вартість, поширеність родовищ	Неоднорідність структури і текстури, схильність до корозії	Плити: цокольні; профільні будівлі
Вапняк м'який	Однорідність кольорового тону і текстури, невисока вартість	Схильність до корозії, низька морозостійкість	Плити облицювальні (для поля стіни), стіновий камінь і блоки
Вапняк-черепашник	Різноманітність кольорових тонів	Схильність до корозії, низька морозостійкість	Плити облицювальні (для поля стіни), стіновий камінь і блоки
Доломітизований вапняк, доломит	Декоративність	Низька морозостійкість	Плити облицювальні (для поля стіни), стіновий камінь і блоки
Травертиновий вапняк	Декоративність, різноколірність, мальовнича текстура, морозостійкість, невисока вартість	Схильність до забруднення	Плити облицювальні, стіновий камінь
Гіпс, ангідрит	Декоративність, чистота кольорового тону	Обмеженість застосування, високе водопоглинання	Плити облицювальні для інтер'єрів, декоративні вироби

Особливості кам'яних порід визначають структурою, текстурою, міцністю, щільністю, пористістю, водопоглинанням, морозостійкістю, кислотостійкістю.

Технологічна **класифікація за оброблюваністю** – одна з найважливіших, бо дозволяє обрати камінь та засіб його обробки.

Кам'яні породи поділяють на:

- тверді;

До них відносять кварцит, граніт, габро, лабрадоріт. Важкооброблювані. Використовують для найвідповідальніших споруд. Мають високу погодостійкість (200-500 років), що подовжує строк служби споруд, які облицьовані плитами з цих порід. Вартість обробки дещо обмежує їх використання. На практиці найчастіше використовують граніт, хоча він є менш декоративним, має досить одноманітний малюнок і незначну різницю в кольорах. Структуру найчастіше має середньо- та дрібнозернисту. Межа міцності на стискання становить $100-400 \text{ Н/мм}^2$ ($1000-4000 \text{ кг/см}^2$).

- середньої твердості;

До них відносяться вулканічні туфи, вапняки, мрамур. Межі міцності на стискання: туф – $8 \dots 20 \text{ Н/мм}^2$ ($80 \dots 200 \text{ кг/см}^2$), вапняк – $5 \dots 60 \text{ Н/мм}^2$ ($50 \dots 600 \text{ кг/см}^2$), мрамур – 70 Н/мм^2 (великозернистий) – 150 Н/мм^2 (дрібнозернистий). Міцніші породи використовують для облицьовування, менш міцні – як стіновий матеріал.

- м'які;

До них відносяться гіпс, тальк, вапняк-черепашник (рос. – известняк-ракушечник). Межі міцності: гіпс – $30 \dots 100 \text{ Н/мм}^2$ ($300 \dots 1000 \text{ кг/см}^2$), тальк – 50 Н/мм^2 (500 кг/см^2).

В СРСР загальні запаси личкувального каменю за промисловими категоріями – більш за 1 млрд. м³, більше 200 родовищ. В Україні поклади будівельного каменю дуже багаті (біля 8 млрд. м³, зокрема більш за 280 млн. м³ найбільш якісного личкувального каменю). Мова йде про ті поклади, що вже розвідані. По всій території України є родовища пісковиків та вапняків. Раціональне їх добування та експорт могли б дати Україні значний прибуток: щонайменше 0,5 млрд. доларів США щорічно.

Для операцій обкантиювання та фрезерування каменю найпридатніша **класифікація за здатністю до розпилювання** (рос.: пилимость). В основі – технологічна продуктивність при різанні алмазним відрізним кругом (дисковою алмазною пилою) за умови постійної потужності, яка споживається. Введено коефіцієнт оброблюваності, а всі види каменю розподілено на 9 груп. Для порівняння: за одиницю приймають оброблюваність коелгинського мрамору, ІХ група (туф, вапняк) має коефіцієнт 0,45, а І (граніт певних родовищ) – 7,2, тобто швидкість обробки різниться у 16 разів.

Здатність каменю до шліфування характеризується показником відносного стирання, згідно якого всі личкувальні матеріали можна поділити на 4 групи. Коефіцієнт змінюється у межах 0,8-10.

Здатність каменю до полірування оцінюється двома показниками: величиною граничного блиску та потрібним для полірування часом. Найкраще полірується мрамур, потім – вапняк (мармуризований), граніт, базальт.

2 ПРОЦЕСИ ТА ІНСТРУМЕНТИ КАМЕНЕОБРОБКИ

2.1 Оброблюваність та властивості каменю

Зумовлюється здатністю опиратися руйнівним силам, яка визначається фізико-механічними властивостями порід.

Основні фізико-механічні властивості, котрі визначають здатність до руйнування:

- механічна міцність – характеризується межею міцності за умов одноосного стискання;
- твердість – характеризується межею міцності при вдавлюванні штампю;
- щільність – характеризується відношенням маси речовини до об'єму, який вона займає;
- пружність – характеризується модулем пружності E ;
- пористість;
- пластичність – характеризується модулем зсуву G і коефіцієнтом поперечної деформації μ

Додатково може зазначатися характер пористості – дрібнопористість, великопористість, тощо. Характер пористості і його визначення залежать від галузі. Кількісно характеризується коефіцієнтом пористості (відсоткова частка об'єму пор у загальному об'ємі пористого тіла). Наприклад, пористість піску становить 6,0-52 %, у доломітів досягає 39 %, у вапняків – до 33 %, кристалічні горні породи – 5 % [13]. Незначна пористість характерна для магматичних порід, висока пористість – для осадових порід. Пористість може бути непрямою характеристикою деяких інших властивостей породи – міцності, теплофізичних і акустичних властивостей, в певній мірі визначає ефективність деяких способів руйнації порід.

Здатність руйнуватися залежить значним чином також від структури гірських порід.

Розробка гірських порід може відбуватися в умовах двобічного, трибічного або всебічного стискання: в залежності від виду обробки. Так, зазвичай, обробка різцями відбувається в умовах дво-, або трибічного стискання, а процеси подрібнювання (рос. дробление) – в умовах всебічного стискання.

За умов всебічного стискання одним з головних показників є коефіцієнт об'ємного стискання β , який показує зменшення об'єму породи при зростанні тиску всебічного стискання на $0,1 \text{ Н/мм}^2$ (1 кг/см^2):

$$\beta = \frac{1}{V_0} \cdot \frac{dV}{dP},$$

де V_0 – об'єм за умов нормальних тиску та температури; P – тиск.

Для більшості порід коефіцієнт β при збільшенні тиску зменшується до певної величини, а потім лишається постійним.

Інший важливий показник – це модуль всебічного стискання K , який показує ступінь опору породи цьому стисканню:

$$K = \frac{E}{1 - 2\mu}.$$

Міцність за умов всебічного стискання є вищою, ніж за умов однобічного. Міцність кварцу, наприклад, за умов однобічного стискання становить 2500 Н/мм^2 , а при всебічному стисканні при тискові 2500 Н/мм^2 становить 15000 Н/мм^2 , тобто зростає у 6 разів



З цього приводу існує теорія Сен-Венана, згідно якої внаслідок зменшення об'єму тіла зменшується відстань між атомами або іонами, тобто зростають сили зчеплення між ними. На тіло в умовах всебічного стискання діють сили, які додатково його однобічно стискають. Для того, щоб зруйнувати тіло, в ньому треба створити напруження, які відповідають збільшенню міцності від всебічного стискання та напруження, що потрібні для руйнування тіла за умов однобічного стискання.

Особливості гірських порід:

1. Міцність коливається в дуже широкому діапазоні, при тому це стосується не лише коливань у межах одного родовища або пласту, а і у межах одного блоку.
2. У нормальних умовах мінерали та горні породи є типово крихкі, а в умовах всебічного стискання набувають властивості пластичності.
3. Міцність за всебічного стискання значно вища за міцність при однобічному стисканні.

4. Навіть незначні стискаючі навантаження в гірських породах викликають незворотні пластичні деформації.
5. Немає чітко визначеної межі пружності. Модуль пружності для однієї й тієї ж породи при стисканні у напрямках, що є паралельними або перпендикулярними до шаруватості, є різним. При цьому модуль пружності для сухих порід вище, ніж для тих же порід у вологому стані.
6. Межа міцності на зсув σ_{zc} та межа міцності при сколюванні $\sigma_{ск}$ знаходяться у певних межах:

$$\frac{\sigma_{zc}}{\sigma_{ск}} = \frac{1}{12} \dots \frac{1}{14}.$$

7. Важко оцінити твердість каменю, тому що гірські породи – це мінеральні частки, пов'язані якоюсь цементуючою речовиною. Відомі засоби, які застосовують для визначення твердості металів, не придатні для визначення твердості гірських порід. Для цього використовують спеціальні пристрої.



Засоби Брюнеля, Роквелла, Вікерса, які пов'язані із вдавлюванням кульки, непридатні, бо руйнуються і мінеральні частинки, і цементуюча речовина. При тому характер та ступінь руйнування різний. Комбінований спосіб вимірювання твердості при вдавлюванні кульки та за результатами розрахунку твердості за формулою Герца також є непридатним, оскільки необхідно визначити навантаження в момент початку утворення тріщини, а цей момент практично визначити майже неможливо.

Метод динамічного вдавлювання кульки (метод Шора), за яким твердість визначається висотою відбиття кульки, яка вільно падає на поверхню зразка, у цьому разі також непридатний (для металів висота відбиття майже прямо-пропорційна твердості зразка, а для гірських порід пропорційність відсутня).

Тому використовують пристрої, які визначають твердість, наприклад, за величиною деформації. З цією метою треба зафіксувати зусилля, площу та глибину вдавлювання.

8. Опори різним видам деформацій (розтягування, згин, зсув) значною мірою відрізняються. Наприклад, для граніту відносний опір зсуву – 0,09, згину – 0,08, розтягуванню – 0,02...0,04 (за одиницю приймається опір однобічному стисканню), для вапняку відповідно 0,15; 0,08...0,1; 0,01...0,1.
9. Інтенсивність зношування ріжучого інструменту значною мірою визначається абразивністю гірських порід. Впливають на зношення, також контактний тиск між інструментом та породою та мікротвердість породи (чим вона вища, тим швидше відбувається зношення).
10. Різання гірських порід відбувається за звичай зі швидкістю 5...12 м/с.

2.2 Процес різання гірських порід

Стосовно процесу руйнування гірських порід при різанні існують різні уявлення. Одна з точок зору полягає в наступному: вважають, що різець при різанні вдавлюється у породу як клин під дією зусилля подачі, а потім рухається і руйнує породу перед собою як плоский штамп. Після заглиблення різця його передня грань зминає породу у напрямку різання до моменту, коли сили опору зминанню не досягнуть величини, необхідної для сколювання породи попереду різця. При сколюванні руйнування вже відбувається в усьому об'ємі матеріалу, а не лише по площинах сколювання.

Заглиблення різця відбувається в умовах, наближених до всебічного стискання. При різанні різець відтискається від породи внаслідок пружної післядії, наявності на оброблюваній поверхні окремих зерен, що видаються над поверхнею, наявності радіуса заокруглення, який визначає площадку зношення і викликає додаткові відтискаючи сили.

Таким чином на різець діють:

$P_{риз}$ – сила опору різанню (руйнуванню породи передньою гранню різця);

P_n – зусилля опору подачі, яке з'являється при заглибленні різця у породу та відтискає різець;

$P_{тр}$ – сила тертя вздовж площадки притуплення;

$P_{нк}$ – зусилля, що виникає при появі радіуса заокруглення, скероване вздовж тіла різця (співпадає з P_n за напрямком). Це зусилля може і не виникати, якщо профіль площадки притуплення не співпадає з траєкторією руху різця або взагалі не виникає заокруглення ріжучої кромки.

2.3 Процеси обробки каменю

Технологічні процеси обробки каменю передбачають надання каменю певної форми та розмірів, а його лицьовій поверхні – заданої фактури.

Технологія обробки каменю визначається в першу чергу твердістю гірської породи та вмістом у ній кварцу. Наприклад, розпилювання твердих гірських порід з великим вмістом кварцу здійснюється на штрипсових рамних верстатах гладкими сталевими пилами (штрипсами) з використанням вільного абразиву, а безкварцевих порід середньої твердості та м'якого каменю – алмазними пилами.

Розрізняють також режими фактурної обробки плит з твердих гірських порід, порід середньої твердості й м'якого каменю. Це зумовлено тим, що здатність зерен абразиву заглиблюватись у тіло каменю при шліфовці залежить від твердості гірської породи.

Тому вибір технологічної схеми каменеобробки визначається властивостями порід, типом блоків, які надходять на обробку, номенклатурою готової продукції та раціональним використанням відходів виробництва.

За будь-якого способу обробки каменю виконується наступна технологічна схема виробництва: наближена, а потім точна обробка виробів за формою і розмірами, фактурна обробка.

До наближених процесів обробки належать: розпилювання, обколювання та оспицьовування, наближена термообробка.

До точних процесів обробки належать: обкантовування (фрезерування), витесування, термообробка.

До фактурної обробки – шліфування й полірування, витесування, термообробка, ультразвукова обробка.

Фактурна обробка надає виробу необхідний декоративний вигляд або здійснюється з метою захисту від зовнішніх впливів.

У каменеобробній промисловості способи обробки природного каменю визначаються методом, яким отримується фактура лицьової поверхні. У відповідності з ГОСТ 9480-69 розрізняють два види **фактур**: абразивні та фактури сколювання. Абразивні

фактури отримують як наслідок операцій різання, а фактури сколювання – ударними методами обробки.

Абразивні фактури об'єднують наступні види обробки каменю:

- полірування (полірована фактура);
- шліфування без накатування глянцею (лощена фактура);
- шліфування абразивами (шліфована фактура);
- розпилювання штабовими та канатними пилами (пиляна А фактура);
- розпилювання дисковими та стрічковими пилами (пиляна Б фактура).

Фактури сколювання охоплюють:

- прорізування гребінкою з твердосплавними різцями (рифлена фактура);
- вплив струменем високотемпературного газу (термостійка фактура);
- обробка хрещатою (хрестоподібною) бучардою (точкова фактура);
- обробка пластинчатою бучардою або фрезною, що котиться (борозниста фактура).

Таблиця 2.1

Основні фактури та операції для їхнього отримання [14].

Фактура	Тип операції
Пласка поверхня	
Поверхня, яка утворилася після видобутку у кар'єрі	Природна фактура, отримана без додаткової обробки
Фактура сколювання	Розколювання на каменокільних пресах, витесування на верстатах
Пиляна фактура	– поверхня після штрипсового розпилювання; – поверхня після розпилювання алмазними дисковими пилами; – поверхня після алмазно-канатного розпилювання
Ударна фактура	– точкова ударна фактура різними інструментами (шпунтами, бучардами, фасонними молотками, піскострумінна обробка); – лінійна ударна фактура (інструмент – долота, скарпелі, ножі, скребки та ін.)
Шліфована фактура	– калібрування; – шліфування; – тонке шліфування; – лощіння; – полірування.

Верба І.І.
Обладнання для обробки природного каменю

Фактура	Тип операції
Фактура після хімічної обробки	Неоднорідна за висотою фактура
Штучне старіння, „антік“	Алмазні або абразивні щітки
Штучне старіння водою	Обробка під високим тиском водою із додаванням абразиву
Лазерна фактура	Обробка лазером з отриманням нерівномірної фактури
Термооброблена фактура	Обробка відкритим вогнем за допомогою горілок
Крайки, торці	
Всі види обробок	– всі елементи стиків між горизонтальними й вертикальними облицювальними елементами; – всі види обробок крайок виробів з каменю, які стикаються з іншими елементами при будівництві

Фактура лицьової поверхні відіграє значну роль у дизайні. Має наступні ознаки:

- **Полірована** фактура – із дзеркальним блиском, чітким віддзеркалюванням предметів, без слідів попередньої обробки. Полірування особливо яскраво виявляє колір та малюнок каменю. Не рекомендується використання таких плит на полах у вологих приміщеннях та для зовнішніх сходів і площадок (без нанесення протиковзної бучардованої смуги) – при попаданні на неї води полірована поверхня стане слизькою.
- **Гладка матова (лощена)** – бархатисто-матова поверхня без слідів попередньої обробки з повним виявленням малюнка каменю.
- **Шліфувана** – рівномірно шерхла, з отриманими тільки при шліфуванні нерівностями рельєфу висотою до 0,5 мм. Шліфування робить поверхню рівномірно шерхлою, малюнок каменю нечіткий. На темних каменях зовсім не виражена, бо практично повністю приховує колір. Рекомендована для долівок, де необхідно зменшити ковзання, та для зовнішніх сходів і площадок.
- **Пиляна** – нерівномірно шерхла, з нерівностями рельєфу висотою до 2 мм, грубіша, ніж шліфувана поверхня, з виявленим кольором та малюнком каменю
- **Термооброблена** – шерхла поверхня із слідами шелушіння від високотемпературного газового струменя, має вигляд дещо „оплавленої“, що дозволяє яскравіше, ніж при шліфуванні, виявити колір та малюнок каменю. Рекомендують для зовнішніх сходів.
- **Точкова (бучардована)** – рівномірно шерхла, з нерівностями рельєфу висотою до 5 мм. Оброблений цим способом граніт особливо придатний там, де небажано чи

неможливо використовувати поліровані камені, а саме – при зовнішніх роботах (відмостка, площадка перед під'їздом, зовнішні сходи тощо). Для попередження ковзання бучардована смужка широко використовується при виготовленні сходищ. Будинкам надає ефекту масивності.

- Фактура **сколювання „Скеля“** (або „Пласка скеля“, „Гранітна скеля“).

Груба фактура, яку отримують сколюванням великих шматків каменю від оброблюваної деталі (рис. 2.1). Імітація природного сколу каменю. Перепад висот рельєфу до 200 мм.



Рис. 2.1 Плитка „Гранітна скеля“

Плитка „Гранітна скеля“ є дуже ефектною і має широке використання: така обробка граніту та мрамору використовується при оздобленні цоколя, першого поверху будинків, як елемент декоративного оздоблення будинків, парканів, з ритуальною метою. Виготовляють її розколюванням, найпоширеніші розміри 600×300 мм, 400×200 мм, 300×150 мм. „Гранітна скеля“ має високу міцність та зносостійкість, тобто і тривалий строк експлуатації, майже не потребує догляду. Виготовити цю плитку можливо не з усіх видів граніту, що впливає на її вартість.

Фактури **штучного старіння** лицьової поверхні плит з натурального каменю отримують різними методами. Рекомендуються для „фактурних“ пористих порід і м'яких мрамурів. Використовують для обличкування поверхонь, з нього роблять різні бордюри, розетки, мозаїчні ротонди й килими, застосовують для надання виробу вигляду „під старовину“.

Піскоструминні верстати здійснюють старіння лицьової поверхні виробів шляхом обробки струменем стисненого повітря з вмістом кварцевого піску. Мікроподряпини частками піску надає поверхні зношеного вигляду. Використання плит з піскоструминною обробкою для оздоблення пола у вологих зонах значно підвищує комфортність та безпечність покриття.

Аналогічну фактуру можна отримати при обробці струменем води, яка містить частки абразиву, при тому продуктивність буде вище.

Способи обробки природного каменю наведені на рис. 2.2.



Рис. 2.2 Способи обробки природного каменю.

За способом обробки **поверхня мармуру**, наприклад, може бути: полірованою, шліфованою чи зістареною, а **граніту**: полірованою, лощеною, шліфованою, пиляною, бучардованою і термообробленою.

Висновок про спосіб обробки каменю приймають, в першу чергу, залежно від кольору й зернистості.

В промисловості найбільш поширені абразивні фактури, які отримують різанням. Технологічний процес обробки різанням здійснюють у дві стадії:

- обробка каменю за формою та розмірами (поділяється на наближену та точну);
- фактурне оздоблювання каменю, під час якого форма за звичай не змінюється і оброблюється лише лицьова поверхня виробу. Лицьовій поверхні надається заздалегідь визначена шорсткість (зокрема – блискуча гладкість), яка зумовлюється декоративними особливостями каменю та його призначенням.
- Найбільш трудомісткий процес (40-50% загальних витрат) – розпилювання блоків на плити чи бруски – заготовки. На долю фактурної обробки припадає 25-35%, на обкатування – до 10% загальних витрат. Собівартість сировини у собівартості продукції – 20-25%, фактурна обробка є багатоступеневою, значною мірою залежить від якості висхідної поверхні розпилу, тобто визначається методом попередньої (первинної) обробки.

2.4 Різальні інструменти для каменеобробки

Для каменеобробки використовують:

1. Штабові (полосові) пили (штрипси).
2. Алмазно- штабові пили (алмазні штрипси).
3. Дискові пили, алмазно-дискові пили (алмазні відрізні круги).
4. Канатні пили, алмазно-канатні пили.
5. Алмазно-стрічкові пили.
6. Барові пили, алмазні барові пили.
7. Фрези.
8. Шліфувально-полірувальні круги та головки

Інструмент для розпилювання каменю залежно від того, які різальні елементи використано, поділяють на абразивний, алмазний та твердосплавний. До абразивного інструменту відносять штрипсові й канатні пили із сталевим неармованим корпусом, які працюють у середовищі вільного абразиву. Алмазний та твердосплавний інструмент має сталевий корпус, який армовано відповідними різальними елементами.

Штрипсові й дискові пили є жорстким інструментом з основою-корпусом у вигляді смуги чи диску. Канатні, стрічкові й барові пили належать до гнучких інструментів, в яких несучою основою є гнучкий елемент – канат, стрічка, ланцюг.

2.4.1 Штрипсові (штабові, смугові) пили

Бувають двох типів (рис. 2.3):

- гладкі (рис. 2.3, а);
- армовані пластинками із твердого сплаву (рис. 2.3, з).

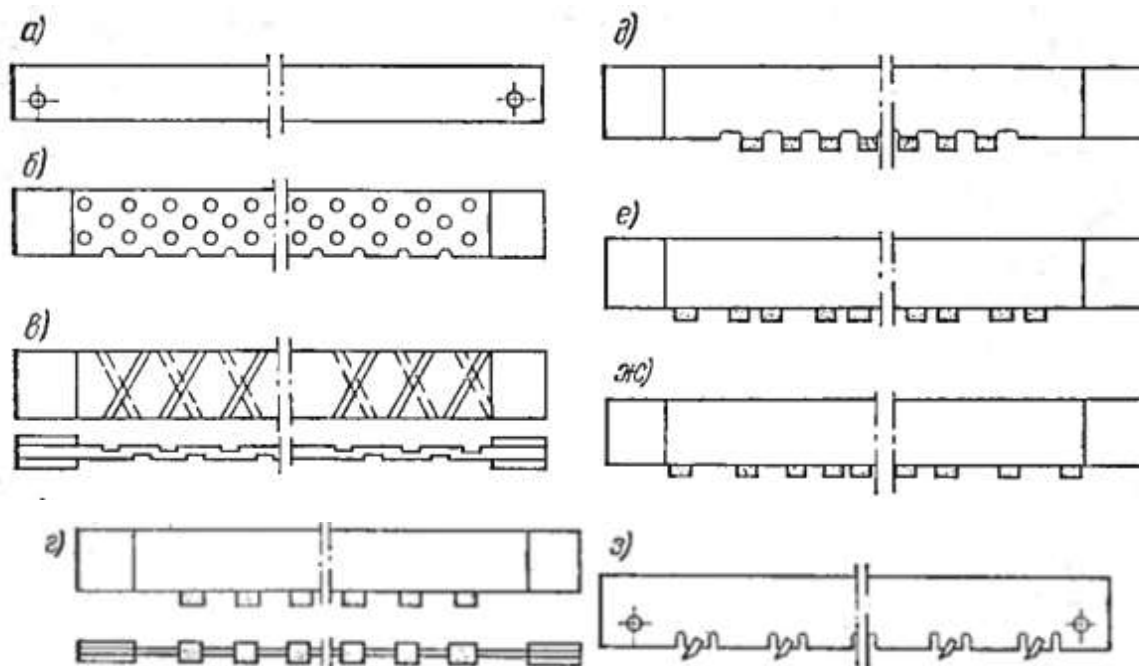


Рис. 2.3 Штрипсові пили.

а) – неармована; б) – перфорована; в) – з канавками; г) – алмазна з нормальним кроком ріжучих елементів; д) – алмазна з температурними пазами; е) – алмазна з кроком ріжучих елементів, який чергується; ж) – алмазна з кроком ріжучих елементів, який збільшується від центру пили до периферії; з) – армована пластинками з твердого сплаву (ВК8).

Гладкі пили (абразивні або неармовані) застосовують для розпилювання у середовищі вільного абразиву каменів міцністю 25-30 Н/мм² (250-300 кг/см²) на верстатах

із зворотно-поступальним рухом або маятникового типу. Пили закріплюють на рамі верстата і забезпечують їх попереднє натягування для підвищення сталості (якщо натягування є недостатнім, то втрачається сталість, змінюється напрямок руху і отримаємо неправильний пропил). Такі пили притискають абразивну масу (пульпу, насичену абразивом: пісок або металевий дріб) до поверхні різа і переміщують цю масу у напрямку руху пили. Дріб перекочується по дну пропилю. Оскільки розміри дробу незначні, то частота перекочування сягає 20-30 об/хв. Найчастіше застосовують дріб, отриманий виливанням, який має значні відхилення від сферичної форми, що зумовлює виникнення динамічних навантажень при перекочуванні. З огляду на удари пили по дробу в момент контакту, тобто динамічне прикладення сили різання, процес штрипсового розпилювання можна віднести до ударно-абразивної обробки [33] в середовищі вільного абразиву.

На пилах, які призначено для роботи із зворотно-поступальним прямолінійним рухом, тобто коли не порушується контакт між пилою та абразивом, роблять вирізи у формі трикутника, щоб абразивна маса інтенсивніше переміщувалась в напрямку руху. Вирізи зумовлюють зростання місцевих напружень, тому як матеріал застосовують високолеговану сталь.

Найпоширеніші розміри штрипсів $L \times b \times t = 3800 \times 140 \times (4 \dots 10)$. Матеріал пил – сталь 65Г. Як абразив використовують металевий дріб $\varnothing 0,8-2,5$ мм (за звичай раціональним вважають не перевищувати $\varnothing 1,5$ мм, бо збільшення діаметру зумовлює погіршення якості пропилю). Для тонких гранітних плит товщиною 20-30 мм – дріб $\varnothing 0,8-1,2$ мм і тонкі штрипси товщиною $t = 3-4$ мм. Коли в процесі різання розмір дробу внаслідок

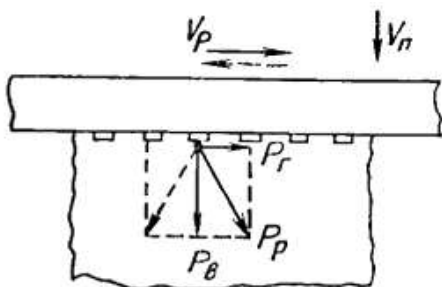


Рис. 2.4 Схема сил при штрипсовому розпилюванні [1].

та значну енергоємність.

зношення зменшується до $\varnothing 0,3-0,4$ мм, його видаляють з пульпи, натомість дозатори періодично оновлюють дріб.

Розпилювання неармованими штрипсами з вільним абразивом є ефективним для порід значної міцності (наприклад, гранітів із збільшеним вмістом кварцу, бо використання алмазного інструменту у цих випадках неекономічне через збільшені витрати алмазів

Сила P_T забезпечує зрізування стружки, а сила P_B – заглиблення пили у камінь, тобто є зусиллям подачі. Співвідношення P_B/P_T зростає із збільшенням міцності оброблюваного каменю і становить $\approx 3,5-4,5$, якщо розглядати питомі сили, зведені до одиниці робочої площі пили [33].

Процес розпилювання є тривалим, бо швидкість заглиблення інструменту незначна (25-30 мм/год залежно від міцності розпилюваного каменю), а розмір заготовки великий. Тому для розпилювання застосовують одночасно значну кількість пил (іноді до 100-120) і таким чином отримують після циклу розпилювання, який становить щонайменше 50-60 год. [33] з врахуванням комплектації заготовок, транспортування, обслуговування верстату, тощо, велику кількість плит, тобто в цілому продуктивність досить висока (4-5 м²/год.).

Для розпилювання порід міцністю до 30 Н/мм² використовують також армовані твердосплавні пили. При роботі на маятникових верстатах (маятниковий рух штрипсової рами) пилами з твердосплавними зубцями кожний зуб періодично входить у зачеплення з каменем та вдаряє по ньому. Для зменшення впливу удару й попередження деформації пили при напайці пластинок з обох боків зуба роблять пропили шириною 2 мм й довжиною 15 мм (рис. 2.3, з). Сучасні технології передбачають дуже обмежене застосування твердосплавних пил.

Таблиця 2.2

Основні параметри твердосплавних штрипсових пил [1]

Розміри корпусу пили, мм:	
довжина	3600-4000
ширина (висота)	130-160
товщина	4-4,5
Крок зубців, мм:	120
Розміри компенсаційних швів, мм	
довжина	14
ширина	5
відстань від зубу	9
Параметри зубців, мм:	
висота	12
ширина	5
товщина	5
Задній кут, град	25
Передній кут, град	10-12
Боковий виступ зубця, мм	0,25-0,5

2.4.2 Алмазні штрипсові пили

Також належать до пил армованих, домінують у технології розпилювання порід середньої та низької твердості на алмазно-штрипсових верстатах з прямолінійним рухом штрипсової рами. Матеріал полотен Ст 65Г або 35ХГСА. До корпусу сталевих полотен припаяні алмазні бруски на металевій підкладці (зернистість А 630/500 до А 315/250, в'язуче М1 або М50, концентрація алмазів 25, 50 чи 100%) (див Додаток Д2).

Основні розміри алмазних штрипсів (за ТУ 2-037-102-82): $(2000-4000) \times (180-200) \times 3,5$ за висоти бруска 7,0 мм при товщині алмазного елемента 5,0...8,0 мм, крок елементів 35...100 мм, кількість 33...70 шт. Економічніше використовувати тонкі пили з шириною брусків 4-5 мм, але для розпилювання каменів підвищеної міцності на верстатах з криволінійним рухом пильної рами та одноштрипсових застосовують потовщені пили з шириною брусків 7-8 мм.

Тривалість циклу алмазно-штрипсового розпилювання становить 10-27 год [33].

Сталевий корпус штрипсових пил є високотехнологічним виробом із складною технологією обробки, виробляється з легованих сталей. Закордонні фірми – виробники таких пил мають запатентовані технології й матеріали цих пил.

Для кріплення пили корпус має потовщення кріпильних кінців накладками. Саме кріплення може бути жорстким або шарнірним.

Випускають пили з кроком алмазних елементів, який поперемінно чергується або збільшується від центру до кінців, що забезпечує рівномірне зношення алмазних елементів вздовж пили.

На рис.3.3 зображено алмазний штрипс фірми TYROLIT (URL: www.tyrolit.com). Позначено: $F=180$ мм, $E=3 \dots 3,5$ мм, L – визначається типом верстата, $L_2 = 20-24$ мм, L_3 – визначається досвідом, $L_4 = L_2$ (найчастіше), $X_1 = 6,5+(7..10)$, $X=5; 7; 10$ мм. Кількість сегментів 20-30 або 30-45 на одне лезо (полосу). Відповідно, потужність на одне лезо становить 1-3 кВт чи 1,5-4 кВт. Швидкість різання 0,96-3,33 м/с, 80-200 подвійних ходів у хвилину при величині хода 360-800 мм, подача при розпилюванні мармуру 100-250 мм/год, граніту – 100-300 мм/ год.

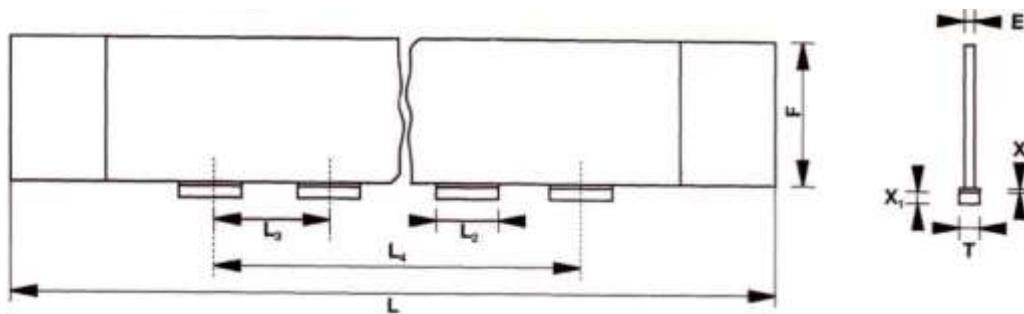


Рис. 2.5 Алмазний штрипс фірми TYROLIT.

Новим напрямом в конструюванні армованих пил є алмазні штрипси, призначені для розпилювання твердих порід каменю, в яких різальна кромка має увігнуту форму [1]. Має оригінальну перфорацію й спеціальний спосіб натягу (за допомогою кінців

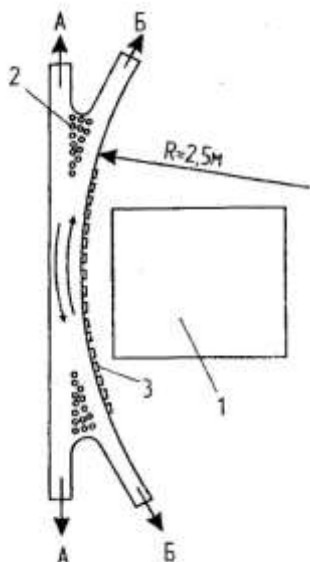


Рис. 2.6 Пила з криволінійною ріжучою кромкою [2].

Позначено: 1 – розпилюваний блок;
2 – перфорація; 3 – різальна кромка.

А-А та Б-Б, ширина штрипсу по кінцях 80 см.), що забезпечує підвищену жорсткість пили. Максимальна ширина в центрі становить 18 см. Пилу оснащено алмазними сегментами довжиною 24 мм та товщиною 7 мм, кількість яких визначається властивостями розпилюваного каменю (найчастіше 16-18). Може розпилювати тверді породи за вертикального руху рами: максимальна висота пропилу 1,43 м, 80-85 подвійних ходів в хвилину. Поверхні пропилу є дуже рівними, відхилення ± 1 мм.

Останніми роками з'явилися пили із зменшеною товщиною сталевого корпусу і, відповідно, меншою товщиною алмазного зуба, тобто й пропилу. Пили дозволяють економити сировину та витрати енергії (завдяки зменшенню сили різання).

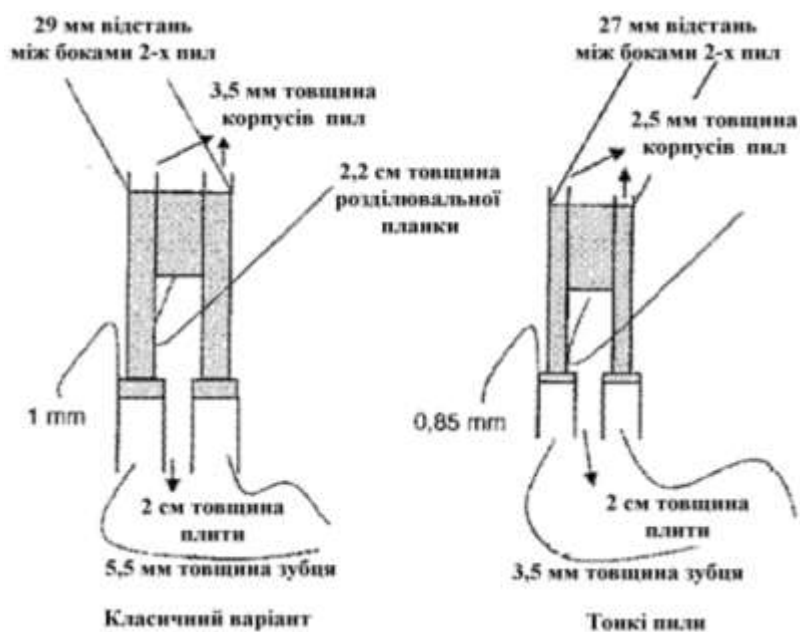


Рис. 2.7 Розмірні характеристики складеного комплексу алмазних штрипсових пил за умови традиційного варіанту та застосуванні тонких пил [14].

Суттєве значення мають характеристики точності пили та елементів її встановлення. Передбачені основні контрольні характеристики пили, які найретельніше перевіряють у першій базовій пили, яка знаходиться біля краю пильної рами [14].

2.4.3 Діскові пили, алмазно-діскові пили (алмазні відрізнi круги)

Алмазно-діскові пили (рос. – алмазно-обрезные круги) широко застосовуються при розпилюванні блоків на алмазно-розпилювальних верстатах та взагалі у каменеобробній і каменедобувній промисловості й для обробки неметалевих матеріалів.

За конструкцією дві групи: із суцільним та із переривчастим ріжучим шаром.

Діскові пили із суцільним алмазомістким (ріжучим) шаром (рис. 3.5, а) виготовляють зазвичай $\varnothing 30 \dots 400$ мм з товщиною корпусу $0,07 \dots 3$ мм.

Основні переваги:

- мінімальна товщина пили: є можливою завдяки збільшеній жорсткості робочого шару за рахунок його безперервності;
- забезпечується висока якість різання, особливо при обробці крихких матеріалів.

Недолік – обмеження розмірів пил через необхідність складного великогабаритного обладнання для виготовлення, що зумовлює звуження області використання. Для напилення потрібні дрібні алмазні зерна, товщина напилюваного шару невелика.

Найпридатніші для роботи з низькоабразивними матеріалами: використовують для розрізування граніту, мрамру, керамічної плитки. Щоб забезпечити тривалий час розпилювання заготовки додатково подають воду для охолодження.



Рис. 2.8 Конструкція різальної кромки алмазних відрізних дисків: а – із суцільною різальною частиною; б – із вузьким пазом; в – з нормальним пазом (у формі літери U). Позначено: S, H – відповідно товщина й ширина алмазного шару, d – діаметр посадкового отвору, D – зовнішній діаметр диску.

Алмазні дискові пили з переривчастим шаром (сегментні) є найрозповсюдженішими (рис. 3.5, б, в). Виготовляються $\varnothing 200 \dots 3500$ мм, товщина корпусу 1,5...15 мм. Складаються з корпусу із загартованої інструментальної сталі HRC 39-44, на периферії – радіальні пази, в яких закріплені алмазомісткі сегменти, що їх виготовляють переважно методами порошкової металургії. Наявність корпусу – основна конструктивна ознака, яка відрізняє алмазний інструмент від звичайного абразивного інструменту: забезпечує повне використання алмазозносного шару (в абразивних інструментах не використовується затиснута в оправці частина). Пили можуть мати міжсегментні проміжки: широкі – 8-30 мм (при діаметрі до 2000 мм) або вузькі – 3 мм (при діаметрі до 800 мм).

Переваги:

- сегментні пили навіть за великих діаметрів можуть виготовлятися на порівняно простому обладнанні, оснащення потребує меншої кількості алмазів,
- при роботі споживається менше електроенергії. Можливим є виготовлення інструменту будь-якого діаметру, як наслідок – широка область застосування.

– забезпечується додаткове охолодження і виведення шламів, що утворюються при різанні (але за тривалої безперервної роботи перегрів диску все ж таки можливий, тож через кожні 1,5 хв експлуатації необхідними є 20-30 сек. обертання на холостому режимі): призначені для сухого різання.

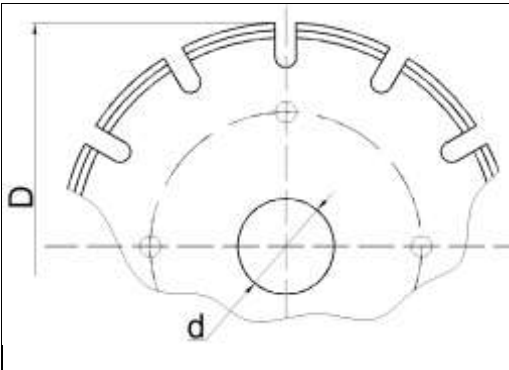
Частка алмазозносного шару для відрізних кругів з вузьким пазом зростає порівняно з широким (нормальним) пазом на 16-63 % залежно від діаметру інструменту. За рахунок ширини пазу можна змінити питомий тиск інструмента на породу і, відповідно, підвищити ефективність різання. Сегментні пази є шламозбирачами і зумовлюють зменшення абразивного зношення металевого в'язучого й збільшують строк експлуатації інструменту.

Існують комбіновані алмазні диски (називають також „Турбо“), які мають частково сегментовану кромку і можуть ефективно застосовуватись як для сухого різання, так і з подачею води: низькоабразивні матеріали розпилюють «на суху», а високоабразивні – з водяним охолодженням. Сталева основа відрізного круга посилена переривчастими зубцями, які попереджують деформацію і збільшують строк експлуатації.

Надійне кріплення сегментів до корпусу (наприклад, лазерним зварюванням) дає можливість працювати з меншими проміжками часу для охолодження дисків і з більшим навантаженням, тобто сприяє зростанню продуктивності. Є можливим різання без охолодження або з незначною кількістю води лише з метою зменшення пилоутворення. Так без води застосовують відрізні диски „Турбо“ на кутошліфувальних машинах і для ручної обробки.

Таблиця 2.3

Основні розміри сегментних пил.

	<i>D</i>	250	320	400	500	630	800	1000	1100	1250	1400	1600	2000
	<i>d</i>	32	32	50	50	50	90	120	120	120	120	180	180
	<i>b</i>	2,6	3,0	3,2	3,8	4,2	5,5	6,5	6,5	7,0	7,5	9,0	12,0

Позначено: *b* – товщина; *D* – діаметр корпусу; $D_{\text{фл}}$ – діаметр фланця; *d* – діаметр отвору для кріплення диску.

$$\text{Діаметр фланця: } D_{\text{фл}} = (0,3...0,4) \cdot D.$$

Концентрація алмазів – 25% або 50%.

Широко використовують відрізні круги діаметром 65-400 мм. При розмірах до 350 мм не є потрібним спеціальне обладнання, ці круги легко встановлюються на кутові шліфувальні машини.

Сегменти й корпуси можуть мати різне конструктивне виконання [2].

Наприклад, багатошаровий сегмент типу „Сендвич“ (рис. 3.5).

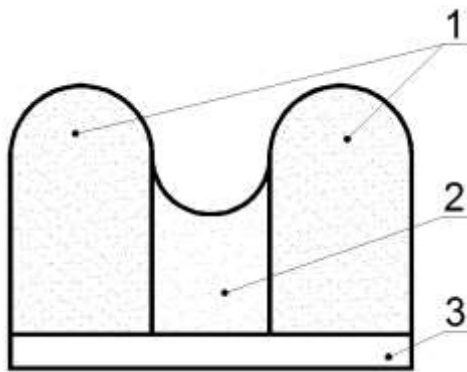


Рис. 2.9 Сегмент типу „Сендвич“ для алмазних дискових сегментних пил.

Позначено: 1 – зовнішній шар з високою концентрацією алмазів (50-100%);
2 – центральний шар із зниженою концентрацією алмазів (12,5...25%);
3 – безалмазна основа (підкладка).

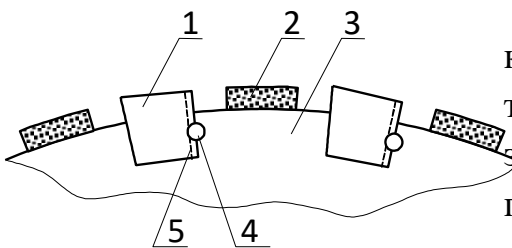


Рис. 2.10 Сегментна алмазна дискова пила.

Позначено: 1 – „чистильник“,
2 – алмазозносний сегмент,
3 – корпус пили, 4 – заклепка,
5 – паз „ластівчин хвіст“.

Аналогічними за наслідками є різноманітні конструкції алмазних сегментів (як трапецієвидної форми, так і прямокутних) з вертикальними прошарками із зменшеною концентрацією алмазів. Така конструкція підвищує стійкість пили в умовах експлуатації, зменшує торцеве биття.

Запропоновані конструкції дозволяють зменшити енергоємність різання та питомі витрати алмазів, тобто вартість як інструменту, так і самої обробки. За рахунок вибору складу в'язучого, марки та зернистості алмазного порошку тощо можна також підвищити зносостійкість зовнішніх шарів, тобто знову-таки зменшити вартість. Існують конструкції з орієнтованим розташуванням алмазних зернин у вигляді правильних рядів або закріплених таким чином, що в проекції поперечного перерізу вінця вони попадають на напівкожності, напівеліпси чи на сторони кута, який вписано симетрично в поперечний переріз.

В конструкції пили передбачено „чистильники“, які встановлено нижче на 0,02...0,03 мм за алмазозносний сегмент, основним призначенням яких є вирівнювання рельєфу пропила і видалення шламу.

Для підвищення стійкості торцевої поверхні пили проти абразивного зношування призначені кільцеві канавки під сегментами, в які занурюють зносостійкі пластинки, що їх відшліфовано до співпадання з площиною пили.

Ще деякі конструктивні пропозиції, які сприяють поліпшенню якості обробки:

- Для зменшення виколювання крайок виробу робочу поверхню інструменту виконують по спіралі Архімеда.
- Виконують потовщення у зоні посадкового отвору з метою зменшити відхилення диску.
- Застосовують оригінальну конструкцію різальної кромки для зменшення кількості відколів.
- Використовують бічні Т-образні сегменти для захисту диску від зношення й попередження защемлення в оброблюваному матеріалі.
- Французький патент: порожниста пила з корпусом із двох склепаних дисків з рядом спеціальних каналів на периферії для подачі рідини у зону різання.
- Для різання твердих матеріалів максимально наближують алмазозносні сегменти. Для м'яких і середньої твердості порід застосовують ступінчасте розташування сегментів.
- Для швидкої заміни ріжучих елементів 1, які мають клиновидну форму із кріпленням у вигляді замку, на корпусі 2 пили передбачують різноманітні фіксатори, наприклад, у вигляді двох поворотних головок 3, які мають форму дисків спеціальної форми, що їх встановлено по обидва боки від заглибини у корпусі, де розміщено ріжучий сегмент 1 (рис. 3.8).

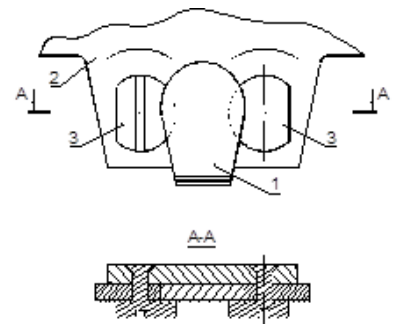


Рис. 2.11 Сегментна пила із швидкою заміною ріжучого елемента.
Позначено: 1 – ріжучий елемент, 2 – корпус пили, 3 – поворотні головки із зрізом

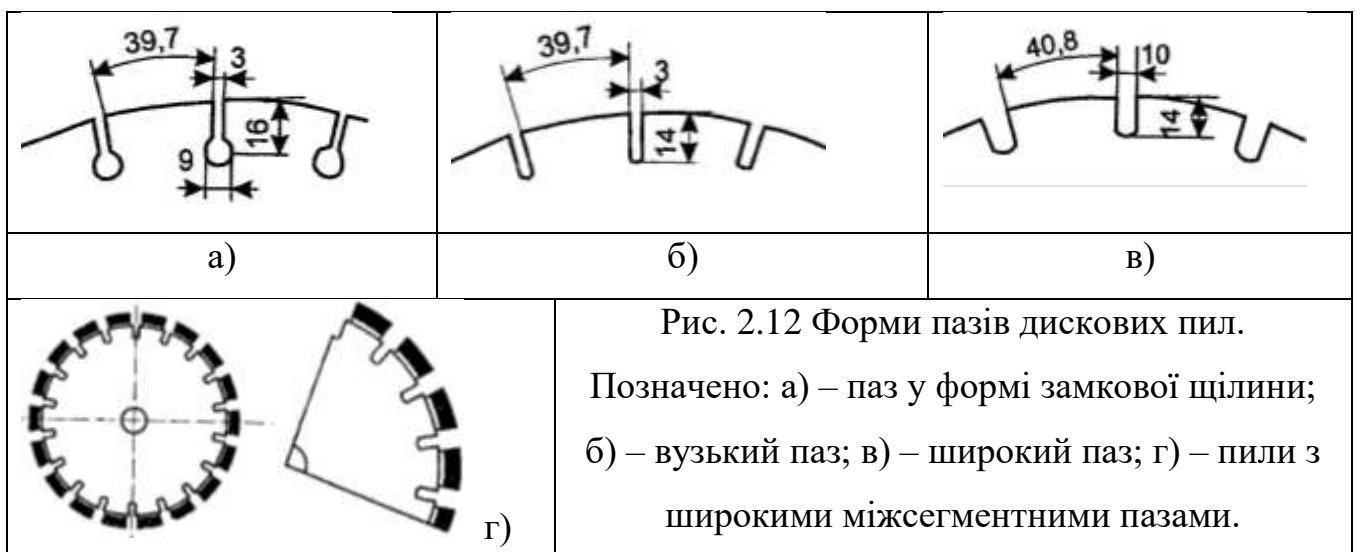


Рис. 2.12 Форми пазів дискових пил.
Позначено: а) – паз у формі замкової щілини; б) – вузький паз; в) – широкий паз; г) – пили з широкими міжсегментними пазами.

Через те, що дискові алмазні пили працюють за високих колових швидкостей і обумовлених ними вібрацій та інтенсивних динамічних навантажень, корпус

дискових пил повинен гарантовано зберігати пласку форму (стан пружної рівноваги) й протидіяти руйнуванню протягом часу до повного зношення алмазних сегментів.

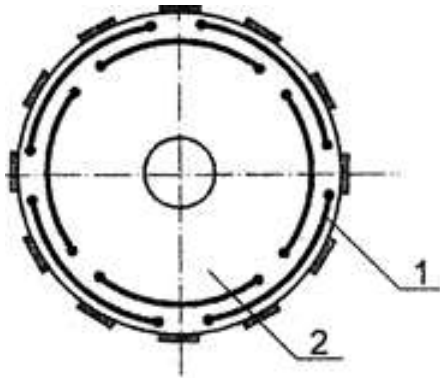


Рис. 2.13 Диска пил із кільцевими прорізами. Позначено: 1 – кільцеві прорізи; 2 – полотно пили [2]

Для зниження власної частоти коливань дискових пил в середній частині корпусу диску виконують вузькі прорізи різних форм і розмірів (рис. 3.9), але при цьому знижується жорсткість корпусу, що вимагає ретельного вибору конструктивних параметрів. Наприклад, виконують розташовані в шаховому порядку кільцеві прорізи, обов'язково на двох або більше концентричних колах (рис. 3.10). Ефект демпфірування коливань зростає при віддаленні прорізів від центру або при ненаскрізних прорізах з розміщеними у них демпфіруючими вставками з матеріалу диска, м'яких металів, пластмаси та інших матеріалів.

Зниження вібрацій досягається також при використанні шаруватого корпусу чи кільцеподібних пластин, які закріплені на корпусі стаціонарно чи є знімними.

Деякі зразки дискових пил надані далі.

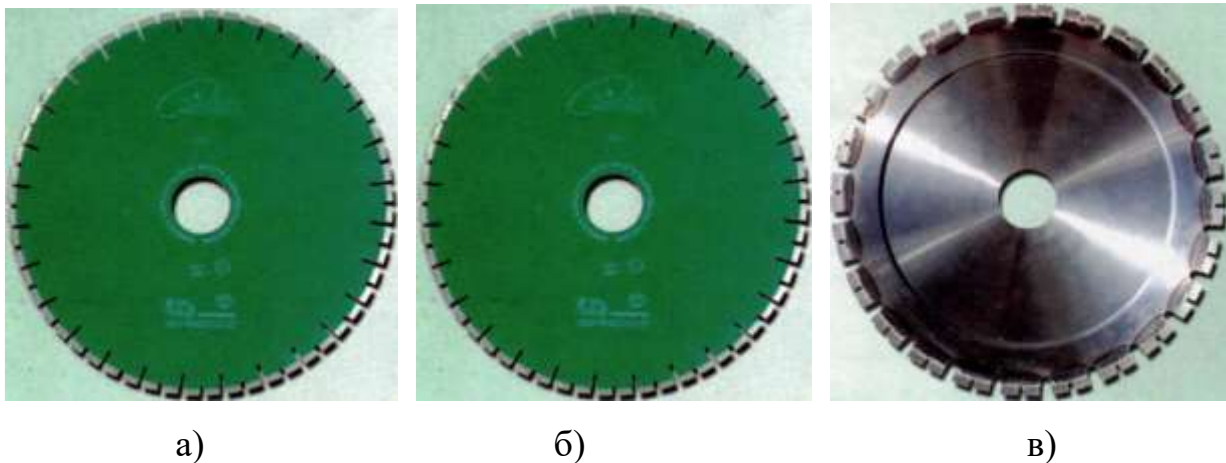


Рис. 2.14 Диски для різання твердих порід граніту (фірма TYROLIT, Австрія).

- а) – використовується для торцевого розпилювання на багатодискових верстатах;
б) – універсальний; в) – для горизонтального підрізування гранітних блоків на багатодискових верстатах

Алмазні круги TYROLIT (Австрія) визначаються ефективністю (невисока вартість погонного метру різання), яка зумовлена надійністю, довгим строком експлуатації та відносно невисокою ціною [постачальник http://ua.sevitol.com.ua/accordions/view/rzka_obrobka_kamnyu].

Диски для різання низькоабразивних порід (рис.3.12, а, б) можуть мати діаметр до 1600 мм з сегментом 24×9×8+2 та потужністю привода 90 кВт. Витрати води при горизонтальному підрізуванні граніту – 50 л/хв. Товщина плитки 10-30 мм. Швидкість різання 27-30 м/с. Поздовжня подача 2-5 м/хв.

На рис. 3.12,в показано бруски шліфувальні АБХ, БСА різної зернистості для сегментів на пили діаметром від 400 до 2000 мм.



Рис. 2.15 Диски для різання низькоабразивних порід

Таблиця 2.4

Рекомендовані режими різання дисковими пилами (кругами).

Матеріал	Швидкість різання, м/с	Продуктивність, см ² /хв	Глибина різання, мм
Мармур твердий, сланець, серпентиніт	35-40	1000-1500	20-50
Мармур абразивний, доломіт	45-50	2000-3000	50-100
Мармур м'який, вапняк, травертін	50-60	4000-5000	100-200

Коментар до рис. 2.16:

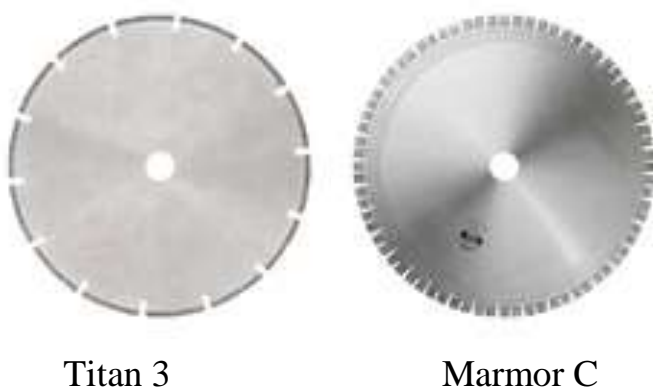


Рис. 2.16 Алмазні диски для граніту та мармуру

<https://www.dr-schulze.de/ru/products/instrument-dlja-kamneobrabotki/>

Titan 3: призначений для розпилювання твердих порід граніту на мостових верстатах. Має короткі конічні сегменти висотою 20 мм, багатошаровий шумознижуючий корпус диску. За індивідуальним замовленням (вид каменю, потужність верстату) виготовляють диски **Granit GT**.

Marmor C: Гальванічний алмазний диск для розпилювання мармуру. Висота різальної кромки 2,5 мм. За індивідуальним замовленням –

Marmor MR.

Верба І.І.
Обладнання для обробки природного каменю

		
а) – DISTAR Turbo adtns 230	б) – диск Ehwa GE-AIR турбо 230	в) – диск turbo TS 125
		
г) – диск Ehwa GE-AIR турбо	д) – диск Sankyo «LW-SR9» з фланцем 230 мм	е) – диск турбо з подовжувачем
		
ж) – диск сегментний SA 230F	з) – турбо-сегментний диск Shinhan LTS 230	і) – диск turbo MULTI 125F
		
к) – диск Tiger Claw	л) – диск сегментний LWSP 125	м) – Sankyo «RI» турбо

*) а), в), ж), и), л) – [постачальник <https://www.stone-tool.com.ua/preview/>, http://ua.sevitol.com.ua/accordions/view/rzka_obrobka_kamnyu/] б), г), д), е), з), к), м) – [постачальник – <http://fortuna-kam.ru/almaznyj-instrument/>]

Рис. 2.17 Відрізні алмазні круги

Коментар до рис. 2.17:

а) – Диск DISTAR Turbo adtns 230 має діаметр 230 мм та кріплення під фланець, лазерну сегментацію і посилений сталевий корпус (сталь марки 65G, Німеччина). Призначений для сухого різання природного каменю переважно твердих порід (граніт, габро). Має м'який різ, високу продуктивність по всім типам граніту. Виробник – Україна. Дуже схожий диск PALMINA turbo 230 також з кріпленням під фланець і призначений для різання всіх видів граніту (габро, лабрадорит та ін. 3-5 класу твердості). Характеризується середнім ресурсом та середньою продуктивністю. Забезпечує чистий різ, без сколювань. Виробник – Південна Корея.

б) – Алмазний відрізний диск Ehwa GE-AIR турбо 230 з фланцем для різання граніту, мармуру, бетону. Має перфорацію на корпусі для кращого охолодження. Діаметр 230 мм, висота сегменту 7,5 мм, ширина – 2,2 мм. Виробник – Південна Корея [фірма „Ehwa“].

в) – Диск turbo TS 125 має діаметр 125 мм і кріплення під фланець. Призначений для сухого різання міцних порід (1-3 група) природного каменю. Виробник – Китай.

е) – Відрізний диск турбо Ø 66 мм з фланцем та подовжувачем для різання граніту. Кріплення різьбою M14. Виробник – „Invatech“, Україна

ж) – Диск сегментний SA 230F також має діаметр 230 мм, але має ще й фланець для кріплення. Призначений для сухого різання міцних порід (1-3 група) природного каменю і бетону. Виробник – Китай. Аналогічні сегментні диски випускає Китай і для різання з подачею охолоджуючої рідини. Висота сегменту 15 мм при Ø300 мм та отворі Ø32-60 мм.

з) – Алмазний високошвидкісний відрізний турбо-сегментний диск Shinhan LTS 230 призначений для різання твердих гранітів, бетону, залізобетону. Лазерне напаявання сегментів, які мають висоту 10 мм, ширину – 2,4 мм.

і) – Диск turbo MULTI 125F має діаметр 230 мм і кріплення під фланець. Диски серії MULTI призначені для сухого різання й одночасного шліфування бічних поверхонь природного каменю будь-якої міцності. Аналогічно виконано алмазний відрізний круг з фланцем Ehwa GM (Південна Корея), який також призначений для різання і шліфування завдяки алмазному шару на лицьовому боці. Висота сегменту 20 мм, ширина – 2,5 мм.

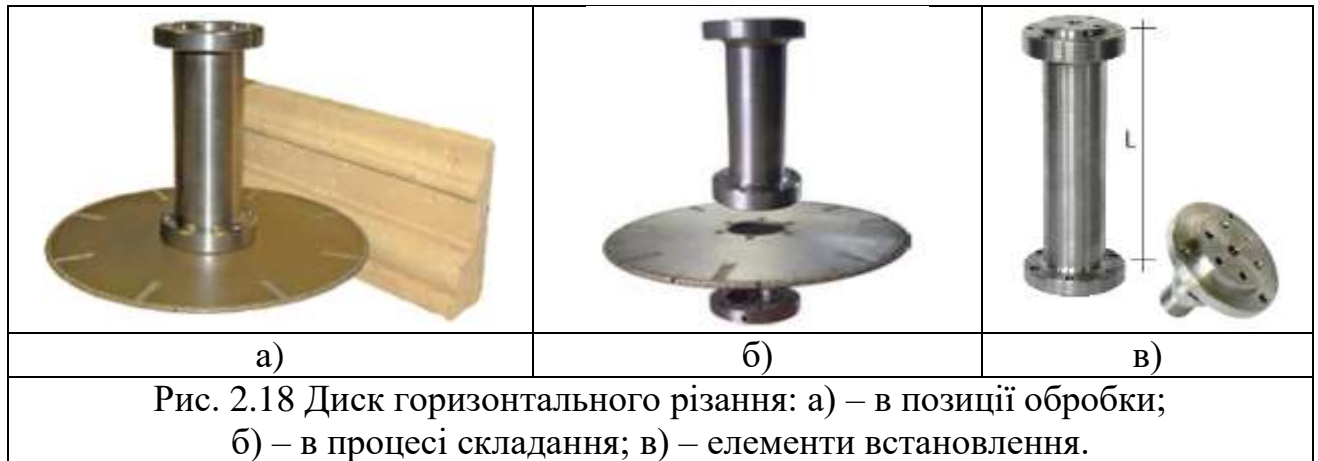
к) – Алмазний відрізний диск Tiger Claw з фланцем 230 мм аналогічний за призначенням попередньому.

л) – Диск сегментний LWSP 125 не має фланця, передбачено кріплення під гайку. Клас Premium. Універсальне в'язуче. Забезпечує якісне різання гранітів різної міцності, кварциту й бетону, має тривалий строк експлуатації. Виробник – Японія (ф. „Sankyo“).

м) – Алмазний відрізний диск із фланцем Sankyo „RI“ турбо для розрізування граніту має сегменти висотою 6,5 мм та шириною 2,8 мм. Виробник „Sankyo“, Японія.

На рис. 3.15 показано горизонтальний різальний диск (пилу для горизонтального різання) фірми NICOLAI diamant [Tools for Workshop Catalogue 2015 v4.2, www.nicolaidiamant.com] та елементи кріплення (рис.3.15, в). Діаметр та товщина дисків: Ø201×3,5 мм; Ø 241×4,5 мм; Ø 290×4 мм. Елемент встановлення: L=130 мм, Ø 45 мм, фланець D=50

мм. Рекомендований швидкісний режим 1200-2000 мм/хв; 2400-2800 об/хв.



На рис. 2.19 показано розрізування каменю дисковими пилами (на багатопильних та на однопильних верстатах).



Рис. 2.19
Розрізування каменю дисковими пилами (на багатопильних та на однопильних верстатах).

2.4.4 Канатні пили, алмазно-канатні пили

Належать до гнучкого різального інструменту.

Неармовані канатні пили (**канатно-абразивні**) у вигляді нескінченного витого (найчастіше поперемінного звивання) сталевого двох- чи трьохдротяного канату, можливо, з пасмами круглого або профільного перерізу, який працює в середовищі вільного абразиву, використовують рідко, за винятком видобувних кар'єрів. Як вільний абразив застосовують кварцевий пісок із зернами 0,2-0,5 мм (вміст фракції 0,2-0,3 мм не менш за 60 %, вміст кварцю – 95 %). Абразив та вода (у співвідношенні 1:4, іноді 1:3) утворюють пульпу, яку подають у зону різання. Середня щільність пульпи становить 1100-1200 г/л. Витрати пульпи – 4-6,5 л/хв.. Для розпилювання міцного каменю та підвищення продуктивності можуть застосовувати суміш кварцевого піску й карбїду кремнію (1:1) або карбїд кремнію (зернистість 20, 32, 40). Продуктивність підвищується у першому випадку у ≈ 2 рази, а у другому – у ≈ 3 рази. Можна використовувати відходи від виробництва карборундового інструменту. Швидкість різання 8-15 м/с. Натяг каната 2-2,5 кН при канаті $\varnothing 3,5$ та 2,5-3 кН при $\varnothing 4$ й більше.

Зернини кварцевого піску при русі канату потрапляють у щілини витків канату, роблять на камені мікроподряпини і відбувається різання, бо зернини нееластичні. Зернина передає на породу навантаження – точкову напругу до 400 МПа, що перевищує міцність каменю і зумовлює його руйнування. Той же канат виносить уламки каменю з пропилу разом з піском і водою.

Армовані канатні пили оснащені різальними елементами – алмазними чи твердосплавними.

Алмазні канатні пили застосовують як для видобування, так для обробки каменю, зокрема для розпилювання великих блоків (довжиною до 5 м), пасерування блоків, різання плит та масового виробництва плит на мультіканатних машинах, контурного різання.

Характерна особливість, яка відрізняє алмазно-канатне розпилювання від абразивно-канатного – обмежена довжина робочого контуру (довжина канату). Нескінчений (замкнений) канат з високоякісної сталі довжиною 16-20 м і зовнішнім діаметром 3-5 мм, на який нанизані різальні елементи – алмазні втулки.

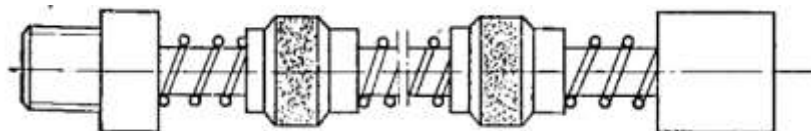


Рис. 2.20 Алмазно-канатна пила.

Розміри алмазних елементів: зовнішній діаметр – 9-11 мм, довжина – 10-12 мм. Товщина алмазоносного шару – 1-1,5 мм. Зернистість алмазоносного шару 500/250 мкм. Концентрація алмазів 50%. Кількість алмазних елементів на одному робочому

контури – 500-1000 шт. (з кроком 16-35 мм). Між втулками встановлюється певна відстань, яка забезпечується розділовими елементами у вигляді сталевих пружин (діаметр дроту 0,8 мм), обмежених шайбами, чи гумових або поліуретанових втулок. Розділові елементи зменшують динамічні навантаження на алмазні елементи. Після кожного четвертого чи п'ятого алмазного елемента на канаті закріплено фіксуєючі елементи у вигляді обтискної металевої втулки. Алмазні та розділові втулки можна кріпити не безпосередньо на канаті, а на захисному пластиковому чи гумовому шарі, але у цьому випадку необхідно забезпечити контрольоване охолодження канату водою щоб попередити перегрів канату й руйнацію пластика. Застосовують і змішане кріплення: пружини та пластик чи гума.

Для зменшення впливу ударів на алмазні втулки застосовують великі шківни (при міжосьовій відстані бм шківни мають діаметр біля 2м).

Алмазні канатні пили можуть працювати зі швидкістю 25-40 м/с. Для охолодження у зону різання подають воду (10-25 л/хв.).

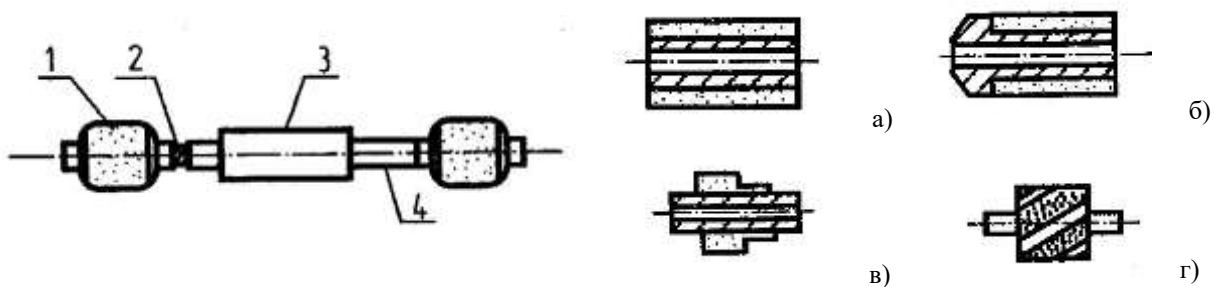


Рис. 2.21 Елементи алмазно-канатних пил. Позначено: 1 – алмазна різальна втулка; 2 – сталевий канат; 3 – розділовий елемент (втулка); 4 – захисний амортизуючий шар.

Рис. 2.22 Типи різальних втулок. Позначено: а) – циліндрична; б) – циліндрична з однібічним буртом; в) – сідчаста; г) – з гвинтоподібною різальною поверхнею

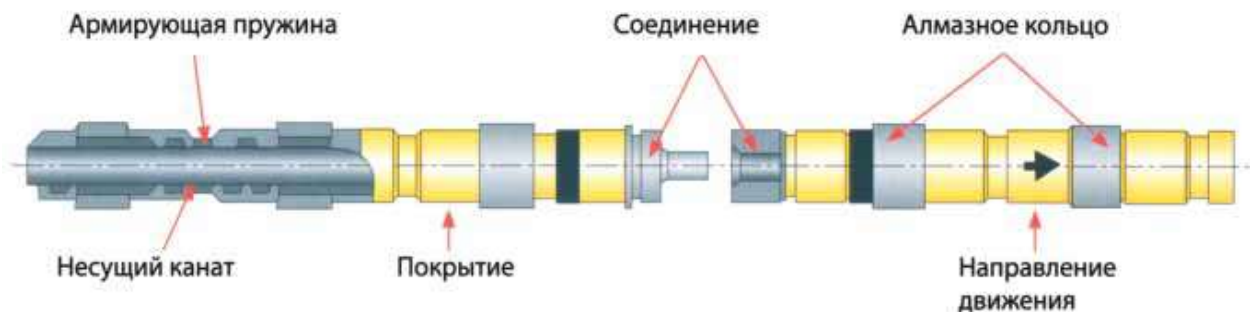


Рис. 2.23 Алмазна канатна пила [<http://sevitool.com.ua/ru/>].

Шар алмазів може наноситись на втулку гальванічним методом, тобто в один шар і у високій концентрації. Алмазні зерна істотно виступають і стає можливим різання на дуже високій швидкості. Такі втулки застосовують для різання мармуру і при тому забезпечується достатня довговічність. Іншим методом утворення на втулці ріжучого

шару товщиною 1-1,5 мм є спікання суміші алмазів і металевого в'язучого. Різання здійснюється гострими краями, які утворюються при руйнуванні алмазу та розкритті наступних алмазних зерен при зношуванні в'язучого. Довговічність таких втулок більша. Це єдина технологія для створення канатів для різання дуже твердих та абразивних матеріалів. Застосовують також алмазно-різальні елементи, отримані методами порошкової металургії на в'язучому підвищеної твердості.

Таблиця 2.5

Параметри закордонних алмазних канатних пил [1]

Довжина робочого контуру, м	16-20
Діаметр несучого канату, мм	5-6
Розміри алмазних елементів, мм:	
зовнішній діаметр	9-11
довжина	10-12
Товщина алмазоносного шару, мм	1-1,5
Крок алмазних елементів, мм	16-25
Довжина відокремлюючої втулки, мм	6-35
Зовнішній діаметр відокремлюючої втулки, мм	6-9
Кількість алмазних елементів на одному робочому контурі, шт	500-1000
Кількість алмазних елементів на одному погонному метрі канату, шт	30, 35, 37, 40
Зернистість алмазоносного шару, мкм	500/250
Концентрація алмазів в елементі, %	50

Використовують також кільцеві державки з навареними на них кільцями з твердого сплаву.

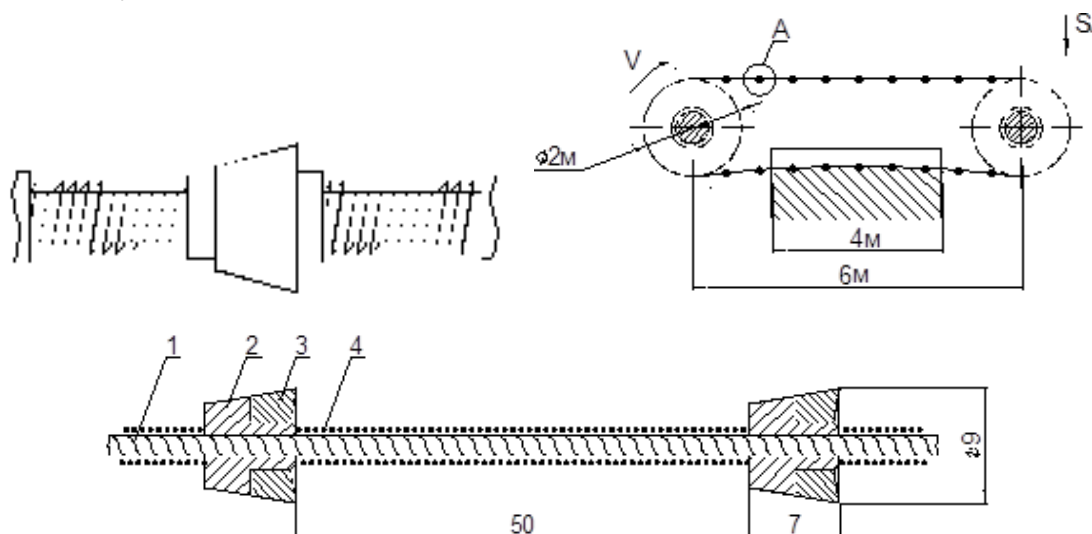


Рис. 2.24 Канатні пили з твердосплавними кільцями.

Позначено: 1 – канат, 2 – втулки, 3 – кільце (різець) з твердого сплаву, 4 – пружина.

Ефективність алмазно-канатного розпилювання значною мірою визначається несучим канатом [1]. Сучасні канати зазвичай є шестипасмовими. Конструкція пасма передбачає один або кілька центральних дротів та декілька дротів, що їх обвивають. З умов корозійної стійкості дріт використовують оцинкований або з іншими покриттями. Варіанти з'єднання (стикування) несучих канатів можуть зменшувати гнучкість канату та жорсткість конструкції, впливати на міцність на розрив, супроводжуватись збільшенням діаметру у місці з'єднання [1]. У [1] наведені відомості про винаходи, які стосуються конструкцій алмазно-канатних пил.

Щоб попередити однобічне зношення канату, його скручують навколо поздовжньої осі перед тим, як замкнути у петлю: 1–1,5 повних оберти на кожен метр довжини (за довжини канату 20 м треба зробити 20-30 обертів) [<http://www.stone-service.ru/index.php?page=stanki-kanatnye>]. При різанні виникає напруга, що повертає канат. Таким чином можна досягнути рівномірного зношування

Верба І.І.
Обладнання для обробки природного каменю



а) – алмазний канат з гумовим покриттям

Характеристика канату: діаметр алмазоносних втулок – 11 мм,
алмазоносний шар – 1,5 мм, 35-40 втулок на 1 м довжини канату,
діаметри розділових втулок 8 мм.



б) – алмазний канат з пластифікованим покриттям.

Продуктивність по твердому мармуру 4-6 м²/год.



в) – алмазний канат з пружинними блоками (26-32спечені алмазні втулки).

Продуктивність по вапняку й мармуру 6-14 м²/год

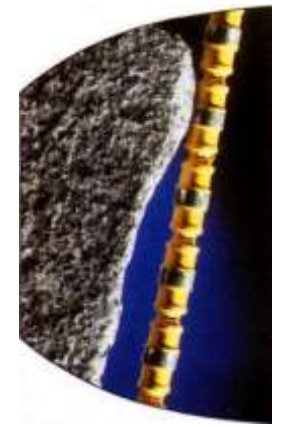


Рис. 2.25 Алмазно-канатні пили фірми TYROLIT для розробки кар'єрів та випилювання блоків з вапняку та мармуру.

На рис. 2.26 показано алмазний ріжучий канат виробництва фірми Wanlong Stone Machinery Co (Китай) призначений для розрізування кам'яних блоків (мармур, граніт, пісковик, вапняк), профілювання, використання у кар'єрах. Має малу ширину різку, є ефективним (хороша різальна здатність), малошумна, екологічна.



Рис. 2.26 Алмазний ріжучий канат & Бусина

<http://www.wanlongstone.ru/stone-polishing-machines/>].

Таблиця 2.6

Конструктивні параметри канатних алмазних пил фірми Wanlong Stone Machinery Co.

Діаметр, мм	Кількість алмазних „бусин“ на метр	Лінійна швидкість, м/с	Використання
8,5/8,8	37	20-30	Граніт, пісковик
11	40	20-30	Граніт, пісковик
11,5	40	20-30	Граніт, пісковик
11,5	40	20-30	Граніт, пісковик
8,5/8,8	37	25-35	мармур
11	28	25-35	мармур

Особливістю канатних пил є їхня придатність як для видобутку каменю, так і для його обробки. В усіх випадках це сприяє комплексному використанню кам'яної сировини.

2.4.5 Алмазно-стрічкові пили

Стрічкова пила – це гнучка нескінчена стрічка з високолегованих сталей, має довжину 10-15 м, ширину 150-180 мм, товщину 1,1-1,6 мм. Розміри алмазних брусків: товщина 2,2-2,6 мм, довжина зубу – 10 мм, шаг між зубцями – 50 мм. Діаметр шківів – 1,5-3,0 м.

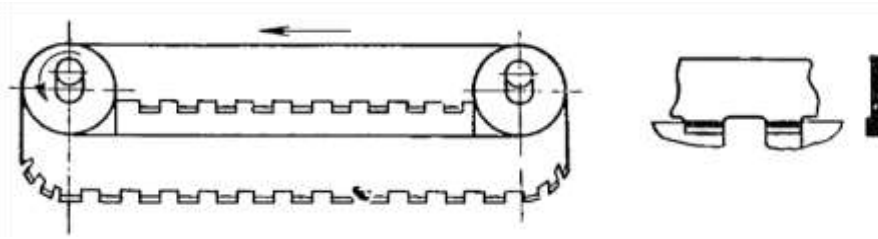


Рис. 2.27 Стрічкова алмазна пила (армована алмазними різальними елементами).

Стрічкові алмазні пили забезпечують швидкість різання 20-26 м/с для міцного каменю й 35-40 м/с для каменів середньої та низької міцності. Витрати води для охолодження – 120-170 л/хв. Натягування пили (40-50 кН) здійснюють гідроциліндром

Таблиця 2.7

Конструктивні параметри стрічкових алмазних пил [1, 33]

Довжина робочого контуру, м	9,7-18,1
Висота (ширина) корпусу	10-254
Товщина корпусу, мм	0,5-2
Розміри алмазних елементів, мм:	
зовнішній діаметр	10
довжина	5
товщина	1-3
Крок алмазних елементів, мм	40-50
Характеристика алмазного шару різучих елементів:	90-630
Зернистість, мкм	(630/450)
Концентрація алмазів, %	30-50

Переваги стрічкових пил:

- незначна товщина корпусу;
- високий коефіцієнт використання інструменту;
- можливість розпилювання блоків значної довжини;
- висока швидкість різання;
- підвищена еластичність корпусу.

Треба враховувати, що зменшення товщини пили зумовлює обов'язкове збільшення натягу або зменшення швидкості робочої подачі (зменшення товщини пили на 0,2 мм – зменшення швидкості робочої подачі на 20-40%).

Недоліки:

- невисокий ресурс стрічки (корпусу);

- неможливість використання інструменту в багатопильних вертатах.

Інструмент є дуже перспективним, але недоліки обмежують його застосування у сучасній техніці. Розробки ведуться у ФРН та Японії.

2.4.6 Барові пили, алмазні барові пили

Пили мають вигляд спеціальних ланцюгів, на ланках яких закріплено різці. Ширина ланцюгів 18-45 мм (у вугільній промисловості – 90-160 мм). У рух пила-ланцюг приводиться зірочкою і під час руху переміщується вздовж напрямної – бара. Часто і інструмент називають баром. Бари можуть бути прямолінійні або криволінійні. Являють собою пустотілу клепану конструкцію, що зумовлює їхню малу вагу. Вісь веденої зірочки має можливість зміщення вздовж осі бара для регулювання натягнення ланцюгу. Під час роботи ланцюг треться об напрямні, що зумовлює нагрівання до досить високих температур. Інколи передбачають спеціальне охолодження та встановлюють теплові датчики.

Розрізняють одношарнірні та двошарнірні барові пили (залежно від з'єднання ланок ланцюга), реверсивні чи неревверсивні, ті, які можна розібрати й ті, які не розбирають, можуть бути обладнані спеціальними упорами для обмеження відхилення ланок при різанні.

Барові пили мають багатопозиційне розміщення різців, які відрізняються формою й розмірами у кожній з позицій. Найпростіше – трипозиційне: по одному різцю для спрямування, розширення та зачищення (рис. 3.21), застосовують для розпилювання каменю низької міцності. Для розпилювання каменю середньої міцності застосовують розміщення різців у 5-7 позицій (один для спрямування, по три послідовно для розширення й зачищення). Іноді різці закріплюють з можливістю повороту на 90° після затуплення, що дозволяє тривалий час експлуатувати пилу без перезагострення.

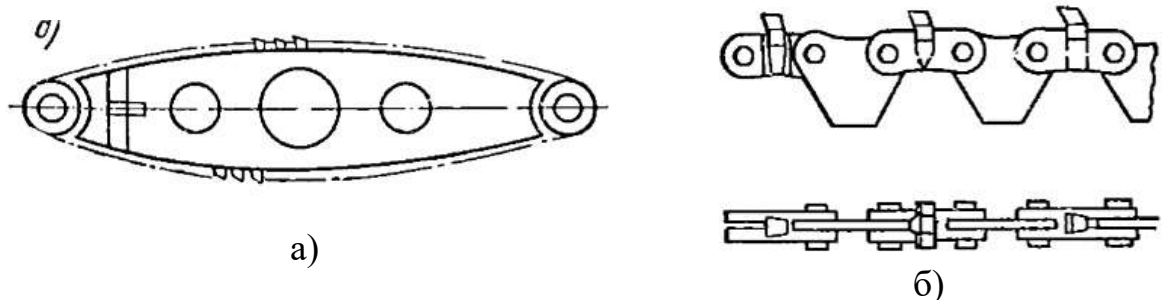


Рис. 2.27 Барова тврдосплавна пила, армована тврдосплавними різцями: а) – загальний вигляд; б) – пила з полегшеним ланцюгом із трипозиційним розміщенням різців (для каменів низької міцності) [1].

Основні переваги у порівнянні з дисковими пилами:

- можливість різання на велику глибину;
- можливість спростити та здешевити конструкцію за рахунок усунення редуктора;
- зручність переналадки для роботи у горизонтальній або вертикальній площині.

Недоліки:

- абразивне зношення шарнірів;
- динамічні навантаження, які виникають у ланцюгу.

Область застосування: добування вапняку-черепашника міцністю 3-5 Н/мм², туфу, мармуру. Вирізають великі блоки, потім їх розрізають на штучний камінь або облицювальні плити. Може використовуватися при добуванні каменю відкритим та закритим способом.

Таблиця 2.8

Технічна характеристика барових твердосплавних пил [33].

Довжина робочого контуру, м	5-6
Кількість ланок різального ланцюга	50-80
Робоча ширина різального ланцюга, мм	20-28
Крок твердосплавних елементів, мм	40-70
Кількість твердосплавних елементів, шт	70-130
Вид твердого сплаву	ВК8, ВК8В

Алмазна барова пила має алмазні різальні елементи у вигляді брусків, які напаяні або запресовані у різцетримачах, що закріплені на нескінченному ланцюзі, сталевому багатожильному канаті, пасі. Останнім часом як несучий елемент використовують гнучкі ланцюги різних конструкцій та все ширше – клинові паси. Така пила може використовуватись при розпилюванні каменю будь –якої міцності.

Таблиця 2.9

Технічна характеристика барової алмазної пили [1].

Довжина робочого контуру, мм	5125
Кількість алмазних елементів, шт	90
Крок алмазних елементів, шт	45
Розміри алмазних елементів, мм	
довжина	15
ширина	18-22
висота	35
Зернистість алмазів	630/500
Концентрація, %	50
Максимальна висота пропилу, мм	1600
Ширина пропилу, мм	28

2.4.7 Порівняльна характеристика методів розпилювання.

Таким чином, для розпилювання кам'яних блоків використовують як жорсткий інструмент з основою-корпусом у вигляді смуги чи диску (штрипсові й дискові пили), так і гнучкі інструменти, в яких несучою основою є гнучкий елемент – канат, стрічка, ланцюг. Для порівняння деякі параметри розпилювання кам'яних блоків наведено у табл. 2.10 [27].

Розпилювання твердих порід каменю й досі у мировій практиці здійснюється сталевими перфорованими штрипсами у середовищі вільного абразиву (сталевий або чавунний дроб \varnothing 0,8-2,5 мм). Розпилювання малопродуктивне, характеризується значними втратами матеріалу через ширину пропилу (10-15 мм), якість обробки незадовільна (нерівності 3-5 мм при відхиленнях від площинності до 10 мм), що обумовлює значну трудомісткість подальшої фактурної обробки. Довжина розпилюваних блоків обмежена. Однак за відсутності альтернативи саме так виробляють до 98% всіх личкувальних плит з твердих порід, зокрема з високоміцних гранітів з великим вмістом кварця.

Можливе розпилювання канатними пилами з багатожильних (до 5) сталевих тросів також у середовищі вільного абразиву (зерна карбїду кремнію): легко переналагоджуються на будь-яку товщину відпилюваних плит, довжина розпилюваних блоків необмежена. Недоліками є значне забруднення довкілля, значні габарити устаткування, вартісне обслуговування.

У кар'єрах застосовують алмазно-канатні пили замість канатних, що дозволило збільшити продуктивність у 10 разів та більше, розширити діапазон міцності каменів, які можуть бути розпилені.

Таблиця 2.10 (*)

Порівняльна характеристика параметрів розпилювання

Інструмент	Габарити інструмента	Міцність породи	Швидкість різання (або подачі)	Глибина різання (прохід)	Продуктивність обробки м ² /год
Штрипси: гладкі перфоровані армовані твердим сплавом	3800x140x(4-10) мм	тверді 25-30 Н/мм ²			0,05-0,1 на один загальна 4-5
	3600-4400x130-160x4-4,5 мм Сплав ВК8	Обмежене застосування	(200-600 мм/год)		
алмазні	3800x180x3,5 Алмазний брусок 4,5-5 мм		1-1,5 м/с, (30-1000 мм/год)		Мармур 0,3-0,4 на один штрипс

Верба І.І.
Обладнання для обробки природного каменю

Інструмент	Габарити інструмента	Міцність породи	Швидкість різання (або подачі)	Глибина різання (прохід)	Продуктивність обробки м ² /год
Алмазно-дискові пили (сегментні)	Ø200-3500 мм Товщина 1,5-15 мм	граніт	15-25 м/с	0,5-1,5 мм	0,6-1,5
		мармур твердий	35-40 м/с	20-50 мм	6-9
		вапняк	50-60 м/с	100-200 мм	24-30
канатні	> Ø3,5 мм	Тверді породи	8-15 м/с		0,2-0,7 (абразив карбід кремнію)
		М'які			2-3,4
алмазно-канатні	Довжина 16-20м, Ø3-5мм	Мармур, вапняк	25-40м/с		6-9(з покриттям)
	Алмазні елементи 10-12 мм, Ø9-11	Твердий Мармур	20-24м/с		4-6 (з пружин. блоками)
	Шків Ø1,5-3м	Тверді породи			0,6-1,6
алмазно-стрічкові	10-18м×150-250 мм×1,0-2,0 мм; алмазні бруски 10 мм, товщина 2,2-2,6 мм, шків Ø1,5-3 м	Міцний камінь	20-26 м/с (900-6000 мм/год)		0,9-2,0
		Середня й низька міцність	35-40 м/с (200-900 мм/год)		2,5-12
алмазні барові	Довжина контуру 5125 мм алмазн елемент 15×(18-22)×35 мм	Будь-яка міцність		Максим. пропил 1600 мм	
		Мармур	(1800-6000 мм/год)		3-8
		Габро	(600 мм/год)		1-1,5
Барові твердо-сплавні	Довжина контуру 5-6 м Твердий сплав ВК8	3-5 Н/мм ²	(5000-10000 мм/год)		10-15
		Вапняк, туф, мармур	3000-4000		6-7

* Використані дані з літературних джерел [1, 33].

У кар'єрах застосовують алмазно-канатні пили замість канатних, що дозволило збільшити продуктивність у 10 разів та більше, розширити діапазон міцності розпилюваного каменю.

Для розпилювання кам'яних блоків середньої твердості досі є економічно доцільними і найчастіше використовуються штрипси, армовані алмазними елементами, з одночасним встановленням 40-90 пил (у сучасному обладнанні типу широкоставкових верстатів – 130-260 пил). Обладнання й інструмент прості, але встановлення штрипсів у площині розпилу складне. Можливе використання традиційних рамних

штрипсових верстатів з обмеженою довжиною розпилюваних блоків. Основний недолік – невисока жорсткість штрипсового полотна через значну довжину, що не дозволяє створювати питомі тиски, які були б достатніми для руйнування каменю значної твердості, і, разом із невисокою припустимою швидкістю різання (1-1,5 м/с), обмежує продуктивність розпилювання (в разі розпилювання мармуру, базальту та ін. становить 0,3...0,4 м²/год. на одну пилу при стійкості 100-300 м²). Проблема ефективного розпилювання гранітів алмазними штрипсами досі не вирішена. Фірми „Морденті“ (Італія) і „Лейрітц“ (Німеччина) виготовили (в 1979 р.) дослідні зразки вертикально-розпилювальних верстатів, призначених для одночасного встановлення 5 чи 10 алмазних штрипсів. Процес розпилювання дуже нестійкий через значні відхилення пропилю від площини різання („зсуви“ інструменту), особливо при обробці високоміцних гранітів з високим вмістом кварцю (відхилення 5 мм та більше), дещо стабільнішим є розпилювання габрових порід.

Для **розпилювання порід середньої твердості та м'яких** застосовують алмазно-дисккові сегментні пили середніх і великих діаметрів (Ø1000-3000 мм), які є найпродуктивнішим інструментом у галузі (100-300 м² на одну пилу). Недоліком є неповне використання ресурсу інструмента, тому раціональний для розпилювання блоків невеликих розмірів. Перевагою є досить висока жорсткість і сталість цих пил, невелика ширина пропилю, мале торцеве й радіальне биття, порівняно низький питомий тиск на оброблювану поверхню, висока розмірна стійкість. Наслідком є висока чистота й точність пропилю та можливість випилювати плити будь-якої товщини. Вартість обладнання нижче, нема проблем з демонтажем і перевстановленням інструментів, особливо при менших діаметрах пил. За продуктивністю одна пила практично рівнозначна набору з 30-40 алмазних штрипсів за порівняно невисоких питомих витрат алмазів (0,04...0,06 г/м²).

Використовують дисккові пили фірм „Хегер“ та „Вінтер“ (Німеччина), „Діамант борт“ і „Дембітцер“ (Бельгія), тощо.

Алмазно-канатні пили застосовують як для видобування, так для обробки каменю, зокрема для розпилювання великих блоків (довжиною до 5 м), пасерування блоків, різання плит та масового виробництва плит на мультіканатних машинах, контурного різання. Як правило, застосовують переважно для розпилювання блоків

м'яких порід каменю на плити потрібної товщини. Економічно доцільні, якщо продуктивність розпилювання не менша за 1,5 м²/год. Ця умова виконується при обробці вапняків, черепашника, доломітів, м'яких різновидів мармурів (для твердого мармуру становить не більше 1 м²/год).

Канатні пили все частіше використовуються в каменеобробній та гірничодобувній промисловості. Використання сучасного обладнання дозволяє розрізати такі тверді матеріали як граніт, мармур, піщаник, як в умовах кар'єру, так і в стаціонарних умовах каменеобробного заводу. Стаціонарні канатні пили використовуються для розпилювання блоків на сляби, вирізання кутів і округлих форм. Лідерами у виробництві канатних машин є італійські та німецькі компанії.

Мультиканатні верстати дозволяють здійснювати розпилювання на сляби, наприклад, верстат KODIAK VM (фірма „VM S.R.L.“, Італія) – канатною пилою Ø 7 мм на 75 слябів товщиною у 22 мм. Передбачена зміна товщини слябів в межах 20-100 мм зміщенням канатів по жолобчастому барабану.

Продуктивність зростає приблизно у 4-5 разів порівняно із традиційним багатоштрипсовим (130 штрипсів) розпилюванням при майже вдвічі меншій витраті електроенергії та певній економії матеріалу інструменту [21]. Характерною є наступна тенденція: при зменшенні розмірів оброблюваних блоків витрати на розпилювання штрипсовими й канатними пилами зростають, а для дискових пил – зменшуються.

Алмазно-стрічкові пили застосовують дуже рідко через їхню низьку сталість – переважно для розпилювання кам'яних блоків невеликих розмірів, але вони є дуже перспективним інструментом, хоча й неможливо його використання в багатопильних верстатах. Перевагами є висока швидкість різання, можливість розпилювання блоків значної довжини, високий коефіцієнт використання інструменту, підвищена еластичність корпусу незначної товщини. Зменшення товщини пили вимагає обов'язкового збільшення натягу або зменшення швидкості робочої подачі: зменшення товщини пили на 0,2 мм зумовлює зменшення швидкості робочої подачі на 20-40%. Недоліком є невисокий ресурс стрічки (корпусу).

Алмазні барові пили можуть використовуватись при розпилюванні каменю будь-якої міцності. Основні переваги у порівнянні з дисковими пилами: можливість

різання на велику глибину; зручність переналадки для роботи у горизонтальній або вертикальній площині. Недоліками є абразивне зношення шарнірів та динамічні навантаження, які виникають у ланцюгу, а також значна ширина ланцюгів.

Область застосування твердосплавних барових пил – добування м'яких порід (вапняку-черепашника, туфу, мармуру): вирізують великі блоки, потім їх розрізують на штучний камінь та личкувальні плити.

2.4.8 Фрези: торцеві, обкантовувальні, профілювальні, скульптурні

Мають багато спільного з відрізними кругами. При обробці каменю поширені виключно алмазні фрези. Область їхнього використання: фрезерування чи прорізування канавок та пазів, обробка фасок, кутів, калібрування поверхонь, обробка прямолінійних виробів. За конструкцією фрези поділяють на циліндричні й тарілчасті.

Циліндрична фреза складається із суцільного або порожнистого корпусу – диска та алмазних елементів, що розташовані по його периферії. Характерна особливість цього інструменту – можливість заміни зношених алмазних елементів завдяки використанню швидкознімних вставок із напаяними алмазними елементами.

Використовують природні алмазні порошки зернистістю 630/500 – 400/315, або синтетичні алмази АРС із зернистістю 1000/800 – 400/315 на металевому в'язучому, концентрація алмазів 25 % або 50 %.

Передбачена робота кількох фрез разом (складені фрези) при калібруванні або прямокутному профілюванні.

Фрези торцеві

Таблиця 2.11

Параметри стандартних фрез

Зовнішній діаметр фрези, мм	Діаметр посадкового отвору, мм	Ширина фрези (по алмазним сегментам), мм	Кількість алмазних вставок, шт
200	60	50	30
300	80	50	46
	120	60	46
400	90	50	60
	120	60	60



Фрези алмазні для обкантовування

Фрези алмазні торцеві “TURBO”

Рис. 2.28 Фрези фірми Tyrolit Vincent.

Фрези алмазні торцеві призначені для сухого й мокрого фрезерування і шліфування плит з граніту, мармуру, мозаїчних плит тощо, мають різну зернистість алмазних порошоків. Колова швидкість при \varnothing 125 мм – 6100-9200 м/с, при \varnothing 100 мм – 9200-12000 м/с.

Напрямок обертання фрези вказано на корпусі. Подача охолоджуючої рідини у кількості 8-10 л/хв здійснюється через порожнистий вал приводу і центральний отвір фрези. Зусилля притискання фрези становить 100-1000 Н залежно від типу каменю, діаметру й зернистості абразивного матеріалу (номеру) фрези та потрібної продуктивності обробки. При встановленні нової фрези потрібне її припрацювання за зусилля 50 % від робочого [www.service-kamnya.ru].

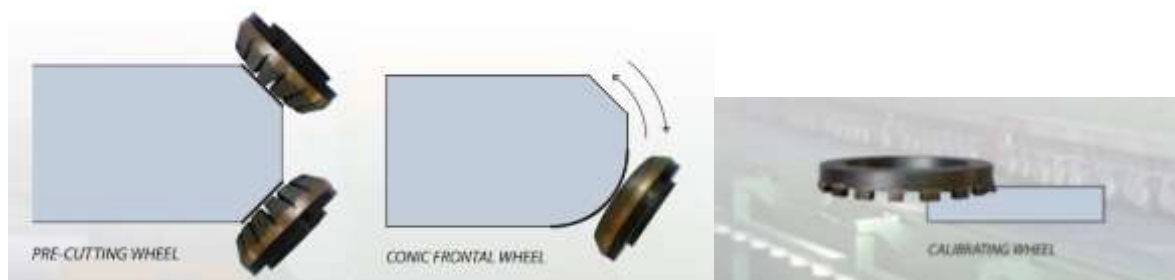


Рис. 2.29 Обробка крайок фрезами для обкантовування (фірма NICOLAI diamant)

		Діаметр, мм	№ фрези	Зернистість, мкм
а)	б)	100	000	700/600
			00	600/500
			0	400/315
			1	250/200
			2	100/80
			3	80/63

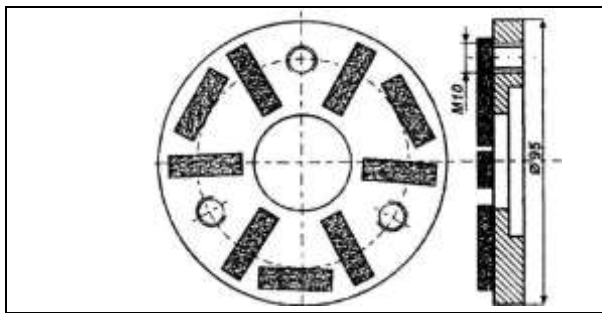
	№ фрези	Зернистість, мкм	Ціна, \$
	0	500/400	33,0
	1	250/200	30,0
	2	125/100	27,0

Рис. 2.30 Фреза алмазна торцева ФАТ, ФАТ-Р. Позначено:

а) – фреза алмазна торцева ФАТ, ФАТ-Р; б) – фреза алмазна торцева опукла ФАТ, ФАТ-Р; в) – фреза алмазна торцева сегментна ФАТ-С для шліфування підлог з природного каменю та мозаїчних мозаїчно-шліфувальними машинами.

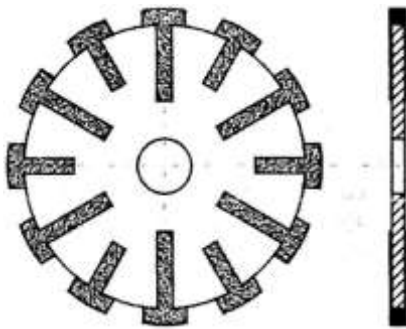


Рис. 2.31 Фреза алмазна радіально-торцева (фарт)

Для виконання прямих та радіальних прорізів у плитах з природного каменю з використанням машин типу „Контур“, „Лазер“, „Вектор“ и т. ін. застосовують фрези радіально-торцеві. Для граніту використовують типорозміри D×T×X×H: 124×4,2×7×25; 144×4,2×7×25, для мармуру – 124×4,2×7×25; 144×4,2×7×25.






		
P30H(Premium)	CP35H(Elite)	CS35H(Elite)
		<p>Фрези серії G призначені для обробки природного каменю й будівельних матеріалів: вирівнювання поверхонь, обробки торців, зняття фасок.</p> <p>Фрези серії С призначені для грубої обробки: вирівнювання плоскої поверхні, підготовка бетонної поверхні до укладання керамічної плитки.</p>
CP65H(Extra)	CS65H(Extra)	

Рис. .32 Фрези алмазні торцеві Tyrolit.



Рис. 2.33 Фрези алмазні торцеві

Коментарі до рис. 2.33:

а) – Фреза алмазна торцева ФАТ 100, М14 діаметром 100 мм та з кріпленням різьбою М14 призначена для обробки крайок і торців та інших плоских поверхнь каменю (граніту, бетону), як сухим, так і з водою. Зернистість може становити №0 (630/500), №1 (250/200), №2 (160/125) і №3 (74/63). Виробник – Україна. [<https://www.stone-tool.com.ua/preview/>].

б), в), г), д), е) – [постачальник: <http://fortuna-kam.ru/almaznyj-instrument/>].

б) – Фреза алмазна торцева типу „Циклон“ для шліфування бетону, граніту, мармуру та інших видів природного каменю. Конструкція дозволяє також оброблювати бічною поверхнею фрези. Діаметр 80 мм, висота сегмента 5 мм. Кріплення гвинтом М 14. Виробник – Invatech, Україна.

в) – опукла алмазна сегментна фреза „Тайфун“ Ø 100 мм для шліфування бетону, граніту, мармуру та інших видів природного каменю. Висота сегменту 3 мм. Форма фрези дозволяє оброблювати вигнуті поверхні. Кріплення різьба М14. Виробник – Invatech, Україна.

г) – Алмазна сегментна фреза „Опукла“ для шліфування бетону, граніту, мармуру та інших видів природного каменю. Діаметр 40 мм, висота 10 мм. Виробник: Invatech, Україна.

д) – алмазна сегментна фреза Ø 100 мм для шліфування бетону, граніту, мармуру та інших видів природного каменю. Висота сегменту 5 мм. Кріплення гвинтом М 14. Сегменти розташовані двома рядами для кращого охолодження й відведення шламу.

е) – Алмазна сегментна фреза „Тайфун-спеціальний“ Ø 100 мм для шліфування граніту. Висота сегменту 3 мм. Виробник – Invatech, Україна.

Циліндричні алмазні фрези різної конструкції випускають закордонні фірми, зокрема бельгійська фірма „Діамант Борт“ (DIAMANT BOART) випускає фрези у двох виконаннях – із суцільним корпусом та із порожнистим, діаметр фрез – 300, 350 та 400 мм, кількість алмазних елементів – 34, 40, 46 шт., ширина фрез 20...80 мм. Аналогічні фрези діаметром 250, 300 та 350 мм випускає фірма „Вінтер“ (Німеччина).

Тарілчасті (торцеві) фрези використовують для калібрування виробів із каменю (вапняк, доломіт і т.п.) та мозаїчних плит. В СРСР випускалися такі фрези: Ø180, 250, 300, 350 та 450 мм, із знімними алмазними сегментами (8 шт.), на кожному з яких в залежності від діаметру закріплено 3-10 алмазних елементів у вигляді брусків, що розташовані по внутрішньому та зовнішньому концентричним колам, тобто по торцю. Сегменти закріплюють гвинтами впотай.

Такі фрези можуть калібрувати вироби з м'яких порід каменю та декоративного бетону із зніманням значного шару за один прохід.

Фірма «Вінтер» випускає фрези Ø 250, 300, 350, 400, 500, 700 мм, кількість алмазних елементів, відповідно – 15, 18, 21, 24, 30 та 40 шт. (довжина елементів 40 мм, висота 6-7 мм, ширина 8-9 мм). Сегменти мають спеціальну форму та елемент, який виламує підрізаний залишок каменю.

Фрези фасонні (профільовальні)

Профільовальні фрези застосовують для профільної обробки (шліфування) крайок плит (торців виробів) з граніту та мармуру, а також штучного каменю. В якості обладнання використовують як стаціонарні верстати, так і мобільні ручні крайкофрезерувальні машини (портативні машини Master, Sector, Flex та ін.). Профільовальна фреза має упорне обмежуваче кільце, що дозволяє вести обробку без шаблонів. Кожна фреза призначена для обробки матеріалу певної товщини (20, 30, 40 мм).

Стандартний комплект профільовальних фрез більшості виробників містить 4 фрези однакової форми, які призначені для різних етапів обробки і відрізняються зернистістю алмазів:

№0 – фреза з розташованими радіально алмазно-металевими сегментами з великою зернистістю, призначена для обдирання зайвого матеріалу й первинного вирівнювання крайки (зернистість 500/400 мкм).

№1 – суцільна фреза середньої зернистості для остаточного вирівнювання й грубого шліфування (400/315 мкм)

№2 – фреза з дрібною зернистістю для шліфування й усунення шорсткості (125/100 мкм, 40/28 мкм).

№3 – фреза з алмазним порошком у металевому в'язучому для тонкого шліфування й підготовки крайки до лощіння й полірування (28/20 мкм-1,0 мкм).

Профілювальні фрези – специфічний інструмент, який практично неможливо замінити, бо ніякий інший інструмент не дозволить так швидко й точно виконати, наприклад, фігурні поздовжні пази на торцях, зняти й зашліфувати фаски тощо.

Обробку виконують з водяним охолодженням: воду подають під тиском (0,2-0,25 МПа) точно у зазор між фрезою й каменем з того боку, куди рухається фреза.



Рис. 2.34 Профілювальні фрези. [<http://fortuna-kam.ru/almaznyj-instrument/>]

			
Швидкість різання 1200-2000 мм/хв		Швидкість різання 500-700 мм/хв	
Рис. 2.35 Сегментні профілювальні фрези типу „Торнадо“ [http://www.nicolaidiamant.com/content/]			

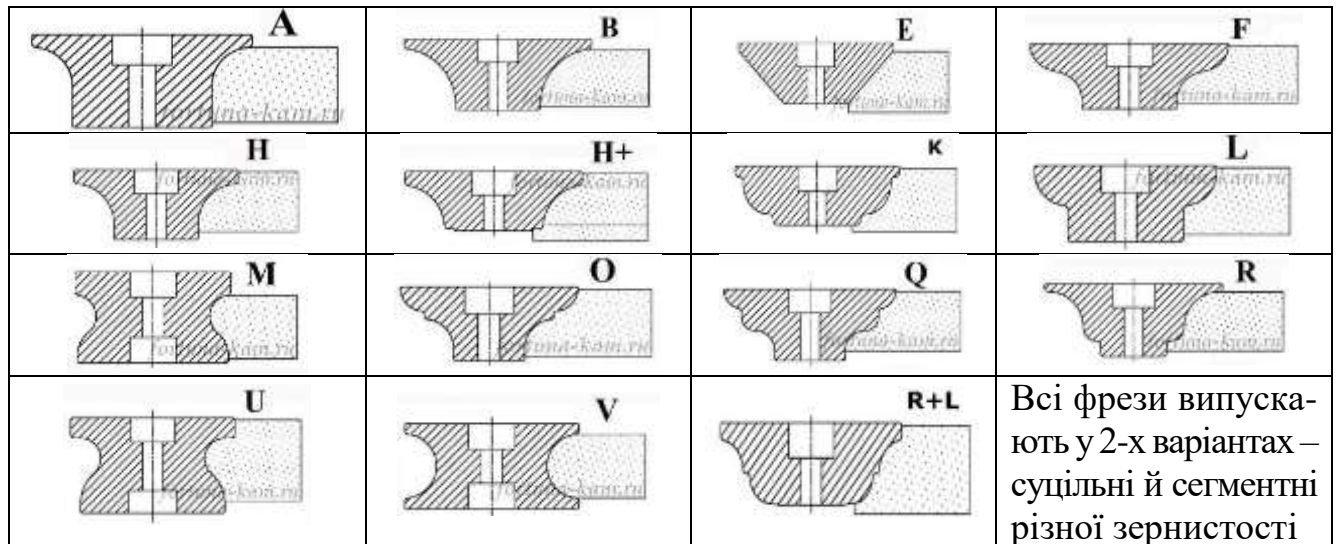


Рис. 2.36 Фрези фасонні (типові профілі)

Комплект містить дві фрези для чорнової обробки (сегментну й із суцільною

смугою), профілювальну фрезу, дві фрези для викінчувальної обробки (із суцільною смугою), гумові круги для полірування. Стандартний діаметр 120 мм. На рис. 2.37 показано також приклади фасонних профілів фрез.



Рис. 2.37 Комплект фасонних алмазних фрез з металевим в'язучим фірми Tyrolit Vincent для верстатів з ЧПК для обробки мармуру й граніту.

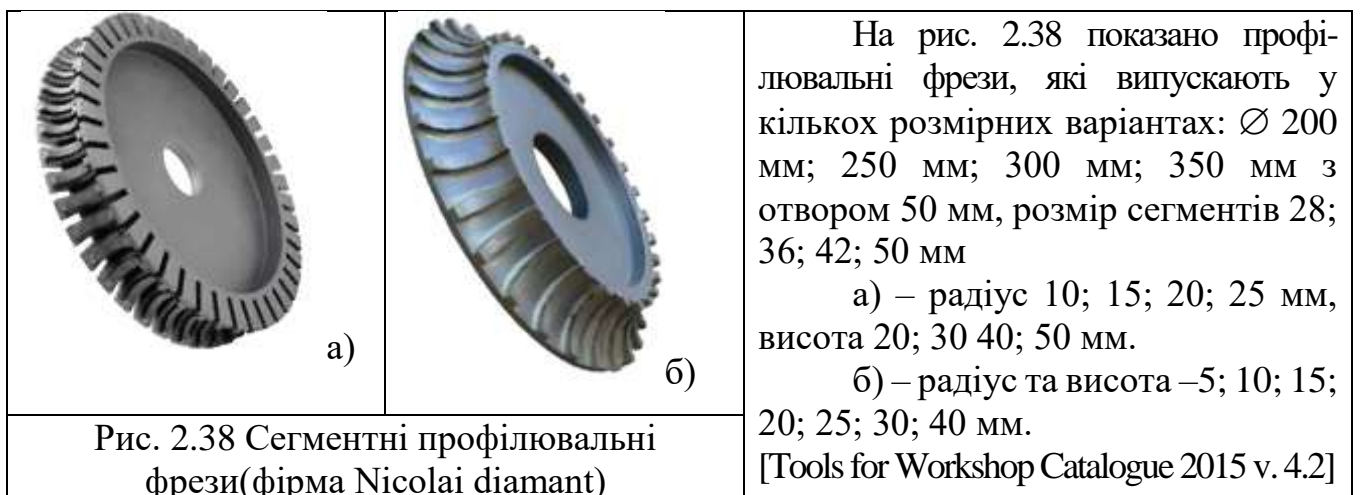


Рис. 2.38 Сегментні профілювальні фрези(фірма Nicolai diamant)

На рис. 2.38 показано профілювальні фрези, які випускають у кількох розмірних варіантах: \varnothing 200 мм; 250 мм; 300 мм; 350 мм з отвором 50 мм, розмір сегментів 28; 36; 42; 50 мм

а) – радіус 10; 15; 20; 25 мм, висота 20; 30 40; 50 мм.

б) – радіус та висота –5; 10; 15; 20; 25; 30; 40 мм.

[Tools for Workshop Catalogue 2015 v. 4.2]

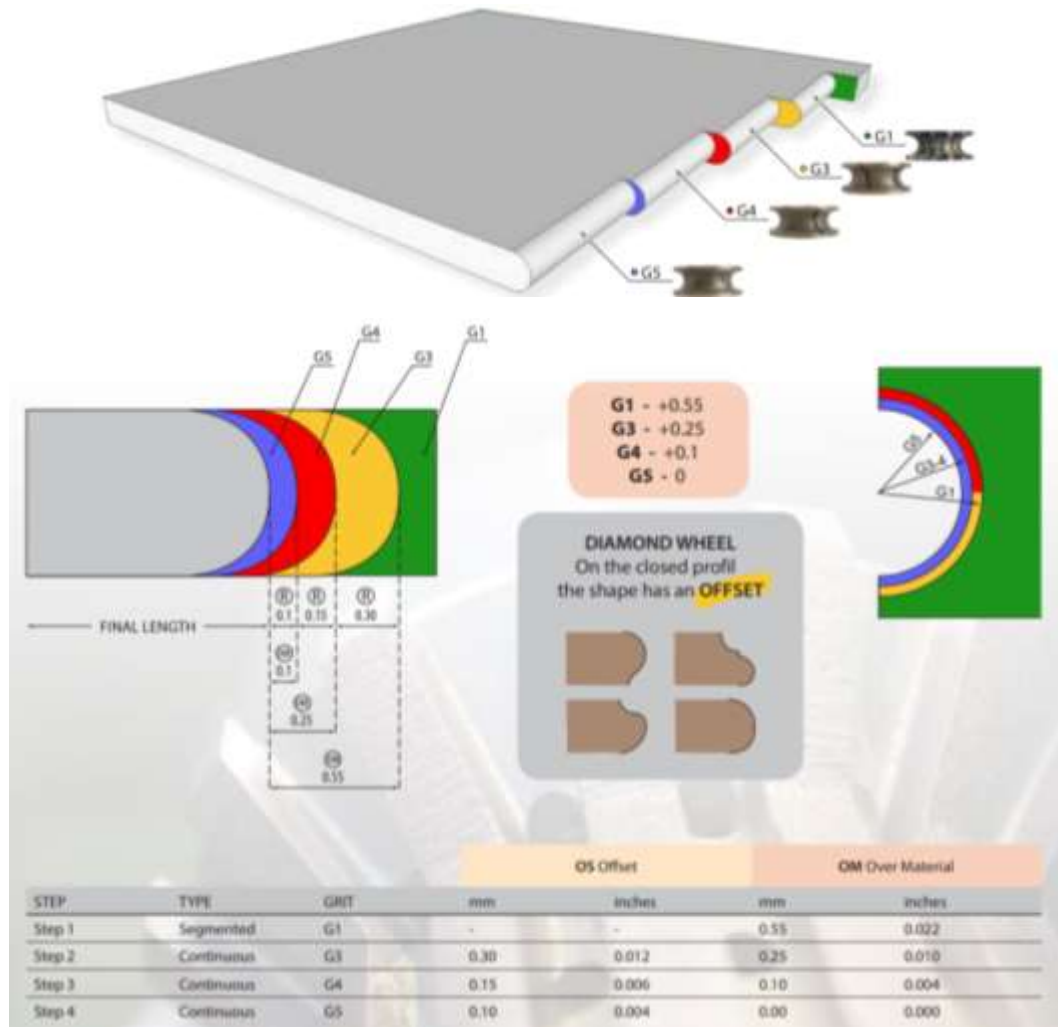


Рис. 2.39 Приклад застосування комплекту профілювальних фрез (ф. Nicolai diamant)

На верстатах гравірувальних та для скульптурних робіт використовують фігурні фрези (рис.3.37).

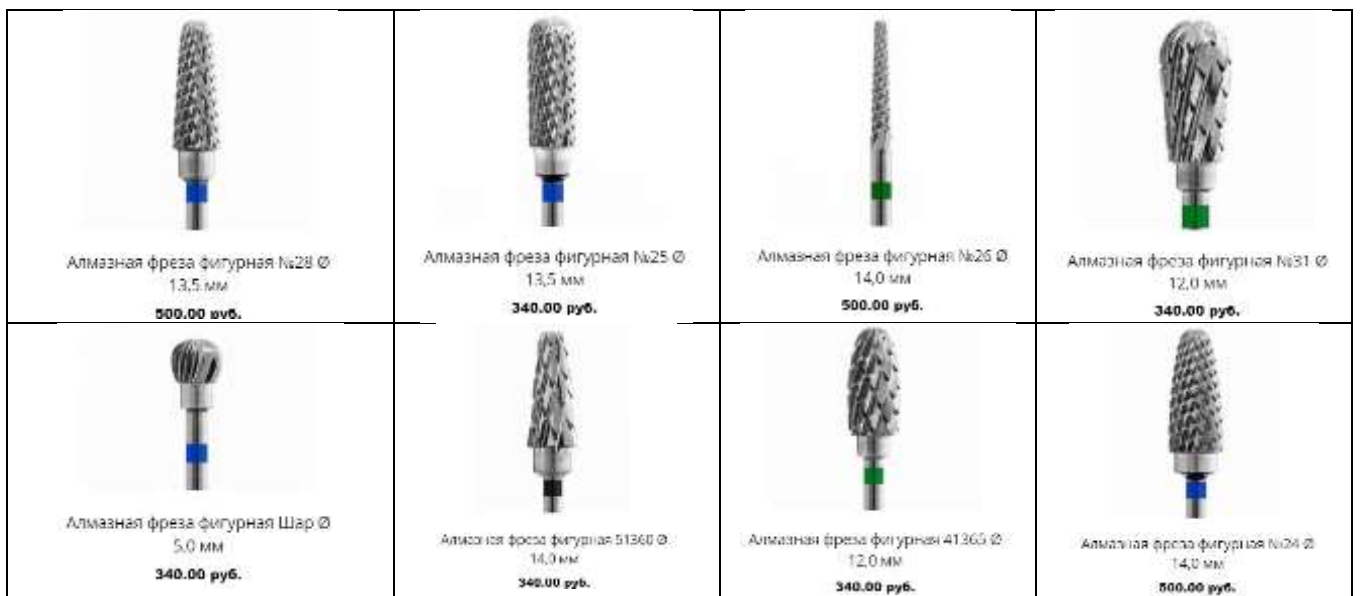


Рис. 2.40 Фігурні алмазні фрези (скульптурні).

Вказано ціну придбання через замовлення в мережі Інтернет у фірми-посередника

За правильної експлуатації, при грамотній організації технологічного процесу (наприклад, зниження навантаження на фрезу за рахунок попередньої обдирної обробки і відповідного зменшення припуску на подальшу обробку), при максимальній подачі води в зону різання і т. ін. ресурс фасонних фрез складає:

- при обробці мармуру – до 1500 м. п.;
- при обробці граніту – до 200 м. п.

Для обробки архітектурно-будівельних виробів різного профілю використовують профілювальні круги.

Поділяють на алмазні (на металевому в'язучому матеріалі) та абразивні (із карбиду кремнію та електрокорунду на бакелітовому або керамічному в'язучому матеріалі). За кордоном переважно поширений алмазний інструмент.

Цей інструмент виконують у вигляді периферійних кругів, переріз робочої частини яких відповідає зворотному профілю оброблюваного виробу.

Робоча частина алмазних профілювальних кругів може бути виконана суцільною (суцільний алмазозносний шар), або переривчастою – з окремих алмазних елементів.

Абразивні профілювальні круги менш зручні в експлуатації, тому що мають малу стійкість і швидко втрачають форму, тобто потребують відновлення за шаблоном.

В СРСР випускалися абразивні круги прямого профілю типу ПП, діаметром від 3 до 1060 мм (30 діаметрів і більше 650 типорозмірів). Ці круги Ø250...600 мм використовують для виконання прямолінійних профілів на виробках з каменю. З цих кругів можуть виготовляти інструменти криволінійного профілю шляхом фасонного обточування.

Профілювання виробів виконують у кілька проходів інструментом різної зернистості та на різному в'язучому відповідно до стадії обробки.

Фрези ротаційні (планетарні).

Застосовують, зокрема як для обробки гранітних та мармурових плит, сходинок, бордюрів, так і у дорожньо-будівельній техніці для обробки асфальтових доріг, так звані планетарні або ротаційні інструменти, які по суті є підшипниковими вузлами з круглими ріжучими інструментами, які обертаються. Це можуть бути як фрези, так і

шліфувально-полірувальні круги. Корпуси вузлів закріплено по колу на дисковому пласкому тримачі і вони утворюють торцевий ротаційний інструмент. Під дією сил різання інструмент у підшипниковому вузлі обертається, при цьому зберігаються всі основні рухи різання – швидкість різання і подача. Інструментом можна здійснювати торцеве фрезерування або шліфування (починаючи з обдирки) і полірування. Кожен з обертових інструментів може мати привод, який забезпечить примусове планетарне обертання, що зумовлює якісне й продуктивне знімання матеріалу. Така фреза дозволяє здійснювати суцільне фрезерування, наприклад, дорожнього полотна.

Переваги ротаційного інструменту:

- збільшення стійкості інструментів у декілька разів і, відповідно, зменшення витрат інструментальних матеріалів ;
- підвищення продуктивності у 2-2,5 разів при одночасному зниженні сил різання;
- покращення якості обробки;
- зниження енергоємності процесу обробки.

Можливим є також використання ротаційних різців в якості робочого органу барових ланцюгів.

2.4.9 Шліфувально-полірувальні круги.

При шліфуванні й поліруванні облицювальних плит як інструмент використовують:

- абразивні чашкові круги на бакелітовому та магнезійному в'язучому – для шліфування граніту (Ø100; 120; 140; 160; 190 мм).
- алмазні чашкові круги (наприклад, ФЧК, Ø120...200 мм) – для шліфування й полірування мрамору, а також частково граніту;
- алмазні бруски різних характеристик.
- алмазні шліфувальні головки – для шліфування й полірування облицювальних плит. Алмазомісткий шар виготовляють для шліфувальних головок на металевому в'язучому, а для полірувальних – на каучукомісткому.

Шліфувальні круги. За відносною абразивною здатністю матеріалу шліфувальні круги поділяють наступним чином:

- натуральний алмаз – 1;
- алмаз синтетичний – 0,8;
- карбід кремнію (карборунд чорний та зелений) – 0,25...0,45;
- корунд – 0,15...0,25;
- електрокорунд – 0,2...0,3; карбід бору – 0,2...0,25;
- кварц – 0,05...0,07.

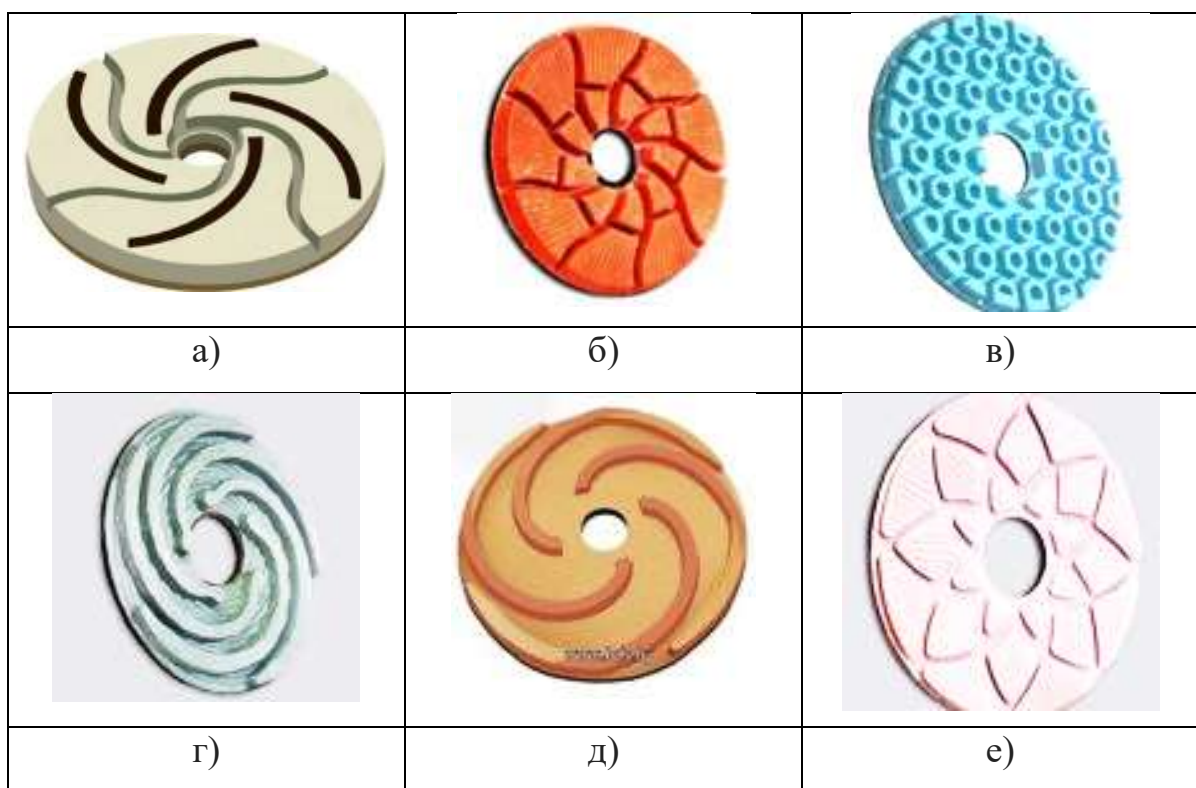


Рис. 2.41 Шліфувальні диски <http://bds.by/>.

Коментарі до рис. 2.41.

а) – Шліфувальний диск ФАШ-ОС на синтетичній основі для виконання послідовно грубого й середнього шліфування на консольно-важельних та мостових (типу СМР) верстатах плоских поверхонь з природного каменю (граніт, мармур) після розпилювання, Використовується лише з подачею води в зону обробки. Діаметр диску 130,160, 200, 250, 320, 400 мм. За зернистістю 3 типи. Кріпиться притисочною планшайбою, що скорочує час на заміну інструменту. Гумова основа перешкоджає

провертанню інструменту при обробці, робить його гнучкішим і покращує якість шліфування. Виробник СООО „Бел Ди-Стар“ (Республіка Беларусь) [<http://bds.by/>].

Диски алмазні шліфувальні для шліфування й полірування виробів з природного каменю на консольно-важельних верстатах з подачею води у зону різання. Виробник СООО „Бел Ди-Стар“ (Республіка Беларусь)

- б) – Диск „Гріндер“ (Ø160, 200, 250 мм, зернистість 50-6000 мкм, 11 переходів);
- в) – Диск „Соти“ (Ø 200, 250 мм, зернистість 120-6000 мкм, 5 переходів);
- г) – Диск „Трек“ (Ø 200, 250, 300 мм, зернистість 50-6000 мкм, 8 переходів);
- д) – Диск „Твіст“ (Ø 250 мм, зернистість 120-3000 мкм, 7 переходів);
- е) – Диск „Flo“ (Ø 200, 250 мм, зернистість 50-5000 мкм, 10 переходів);

Використовують абразивні круги з карбіду кремнію та електрокорунду на неметалевому в'язучому матеріалі.

Зокрема, використовують складені круги, що складаються з корпусу-планшайби та закріплених на ньому абразивних елементів – кругів прямого чи конічного профілю та брусків (3, 4, 6 одиниць). Іноді круги прямого профілю виконують запресованими в металевий корпус – арматуру.

Розповсюджені також (особливо у закордонній практиці) круги із знімними сегментами (рис. ,г), що мають криволінійну робочу поверхню з радіусом кривини від 75 до 375 мм. Цим досягнуто зменшення площі контакту, тобто підвищення тиску і продуктивності обробки.

Для фрезерування й шліфування плоских поверхонь плит з природного каменю використовують алмазні диски на полімерній основі. Різальні сегменти впаяні у пластик дискового корпусу, який з'єднується з приводом верстату за допомогою проміжного сталевого корпусу та болтів М8. Переважно призначені для консольно-полірувальних верстатів.

Для коліно-важільних верстатів для середнього й тонкого шліфування з подачею води граніту, габро, базальту, мармуру, пісковика, мозаїчних матеріалів випускають алмазні шліфувальні круги $D \times H = 160 \times 20; 200 \times 20; 250 \times 20$ на органічному в'язучому із зернистістю 200/160; 80/63; 40/28; 14/10; 5/3.

Фірми випускають кілька груп інструментів. Наприклад, „Бел Ди-Стар“ (Республіка Беларусь, [<http://bds.by/>]) випускає диски шліфувальні на жорсткій основі із алмазними сегментами на металевому в'язучому, на гнучкій основі, диски шліфувальні алмазні з полімерним в'язучим для середнього й тонкого шліфування мармурових і гранітних плит, полірувальні з полімерним в'язучим із додаванням мікроабразиву для досягнення ідеального блиску на мармурових та гранітних плитах.



Рис. 2.42 Шліфувальні й шліфувально-полірувальні круги.

Коментарі до рис. 2.42:

а) – круг шліфувальний 250 на полімерній основі «Супер ЕЛІТ-90 сегментів» для обробки з водою плоских виробів з природного каменю. Виробник – Україна;

б) – круг шліфувальний $\varnothing 130$ мм на полімерній основі аналогічний а);

в) – диск алмазний шліфувально-полірувальний для кераміки, граніту та мармуру (обробка з подачею води).

г) – Диск алмазний $\varnothing 320$ мм на полімерній основі для шліфування граніту й мармуру з охолодженням водою

д) – шліфувальні металеві круги із змінними алмазними сегментами. Використовуються із водяним охолодженням.

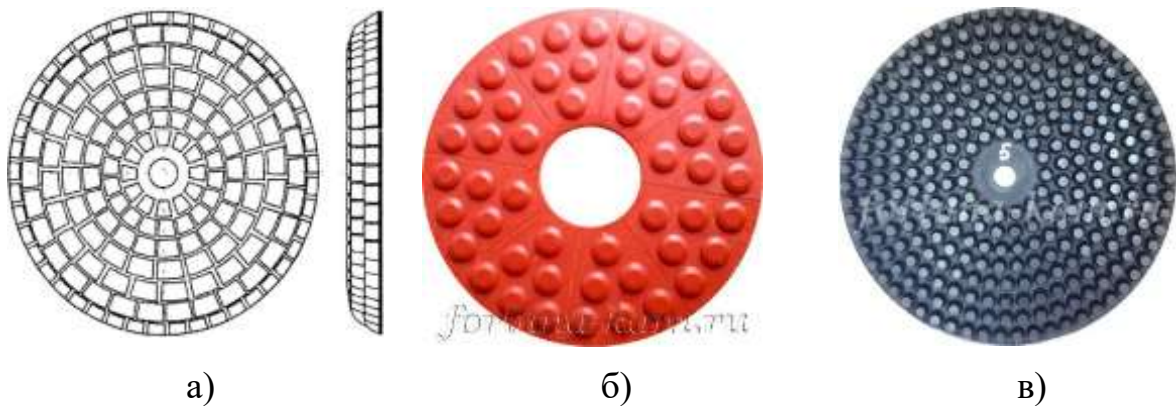


Рис. 2.43 Шліфувально-полірувальні диски

а) – Диск алмазний радіальний шліфувально-полірувальний для обробки виробів, які мають увігнуті радіальні поверхні. Встановлюють на тримач з отвором М14 для кріплення. Випускають стандартні й економ комплекти; б) – шліфувально-полірувальний алмазний круг „Табле“ для обробки граніту, мармуру та інших видів природного каменю з водяним охолодженням. Комплект містить 7 переходів; в) – шліфувально-полірувальний алмазний круг аналогічного б) призначення;

Алмазні шліфувальні круги найчастіше виконують складеними: складаються з корпусу та комплекту швидкознімних алмазних елементів.

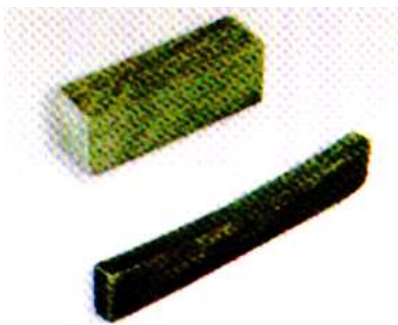


Рис. 2.44 Сегменти алмазні

Наприклад, круг АПС-2: сталевий диск з пазами на робочому торці, в які вставлені алмазні елементи, що мають форму брусків. Кількість брусків – 4...10, залежно від діаметру (250, 360, 450, 560 мм). Висота круга 23, 27, 28, 32 мм. На рис.3.38 показано сегменти алмазні для кругів 1A1RSS будь-якого розміру (діаметром від 115 до 3500 мм), які випускають різних типорозмірів $L \times W \times h$: від $40 \times 2,8 \times 7(10)$ до $40 \times 5,5 \times 7(10)$ мм; від $24 \times 2,6 \times 7(10)$ до $24 \times 12 \times 12(20)$ мм і т. ін..

Застосовують високоміцні алмази фірми „Де Бірс“.

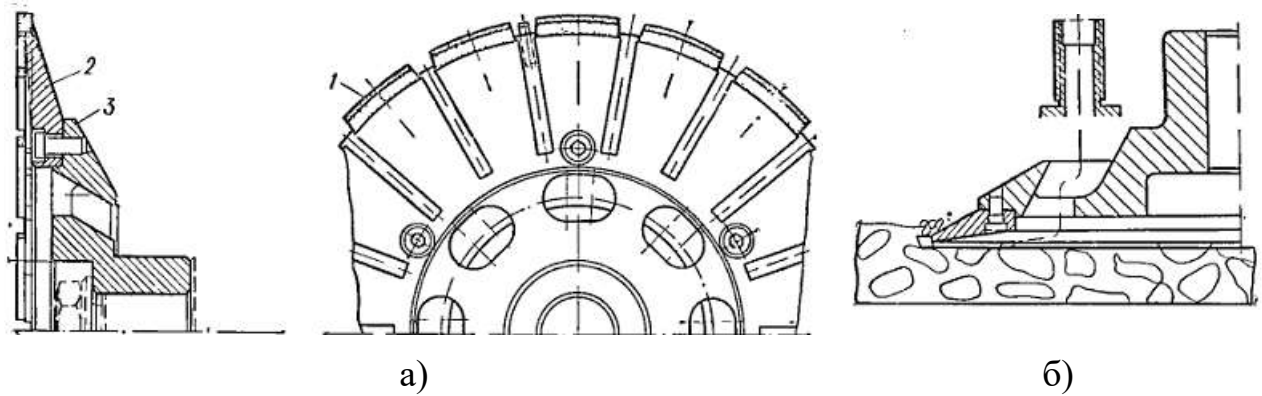


Рис. 2.45 Алмазні тарілчасті фрези [34]: а) – для обробки м'яких порід; позначено: 1 – алмазні елементи; 2 – елементи фіксації та видалення; 3 – корпус;
б) – схема роботи тарілчастої фрези при калібруванні м'яких порід із значним шаром каменю, який знімається.

Для обробки виробів з міцного та абразивного каменю (граніту, габро, кварциту, пісковика та ін.) застосовують натуральні алмази зернистості 630/500-40/28 – в залежності від стадії шліфування, концентрацією 50 або 75% на першій стадії та 100% на наступних. Для обробки виробів з каменю середньої та низької міцності (мармур, травертин та ін.) використовують також і синтетичні алмази (АС15, АС32, АС50) зернистістю 630/500-5/3 та з концентрацією 25 або 50% на першій стадії, та 100-125% на наступних стадіях.

Шліфувальні круги відрізняються розташуванням алмазних елементів-брусків, які за звичай є змінними.

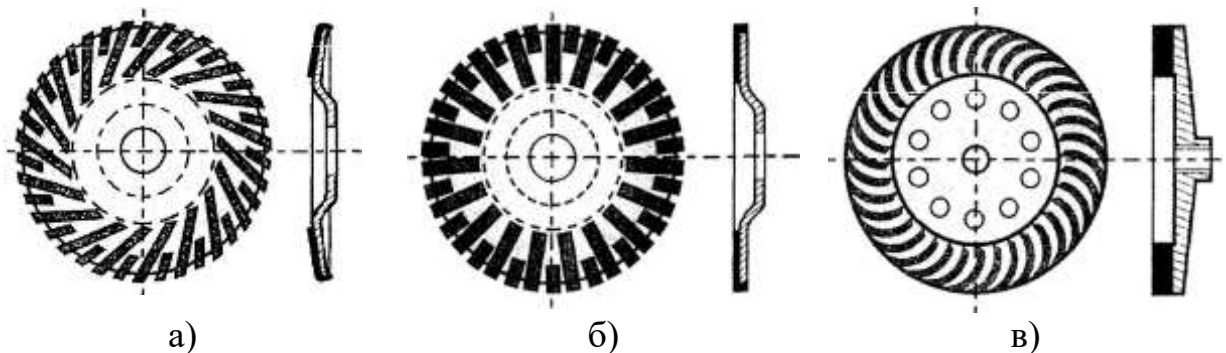


Рис. 2.46 Диски алмазні.

Коментарі до рис. 2.46:

а) – „Спайдер“. Призначений для сухого шліфування плоских поверхонь виробів із граніту. Має опуклу робочу поверхню. Зернистість 630/500 мкм, діаметр Ø100 та 127 мм.

б) – „Спайдер“ спеціальний також для сухого шліфування площин та торців. Може мати плоску та торцеву робочу поверхню. Діаметр Ø100 та 127 мм. Зернистість – 630/500 мкм.

У всіх дисків а) і б) посадковий отвір $\varnothing 22,2$ мм.

в) – „Циклон“. Призначений для високопродуктивного сухого шліфування плоских поверхонь та торців виробів із граніту, мармуру, бетону та інших будівельних матеріалів. Діаметри дисків 50; 80; 100; 127 мм. Посадкове місце М 14. Висота сегментів 7 мм. Зернистість – 630/500 мкм або 800/630 мкм.

Алмазні сегменти є різноманітними, можуть мати різне розташування алмазних брусків.

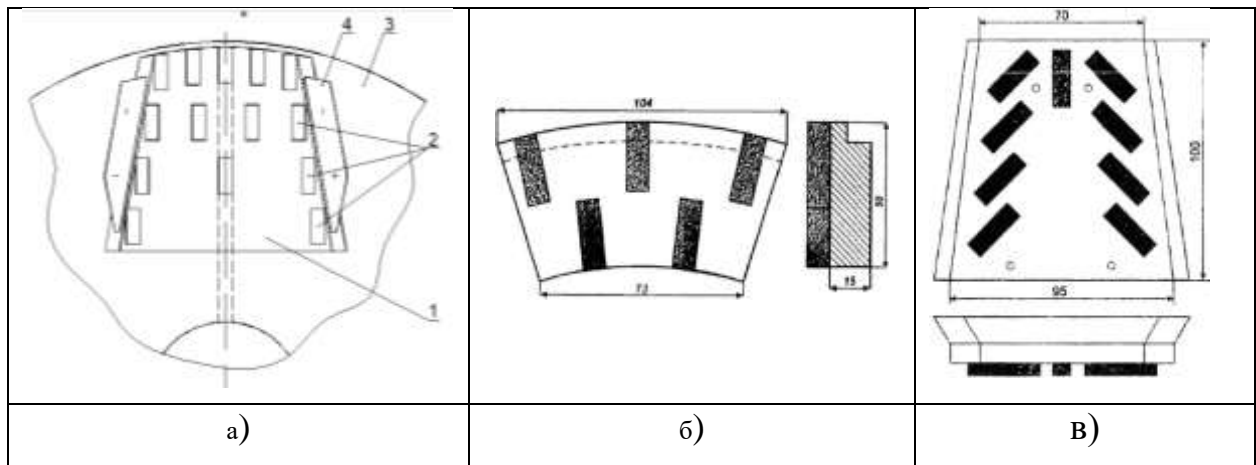


Рис. 2.47. Алмазні сегменти. а) – позначено: 1 – сегмент,
2 – різальні елементи, 3 – корпус, 4 – напрямні.

Сегмент 1 типу „Франкфурт“ для складеного алмазного круга (рис. 2.47, а) має трапецеїдальну форму та армований комплектом різальних елементів у вигляді брусків 2, які розташовано у певній послідовності.

Сегменти кругів, що їх призначено для грубого шліфування, мають 14 брусків, які розташовані у 4 ряди по 5, 4, 3 та 2 у кожному, починаючи із зовнішнього (рис. 2.48). Сегменти кругів для тонкого шліфування мають по 9 брусків. Розмір брусків – $l \times b \times h = 24 \times 9 \times 5$ мм. Сегменти монтують на корпусі 3 круга за допомогою напрямних 4 та їх надійно фіксують за рахунок відцентрових сил при обертанні. Кількість сегментів залежить від діаметра круга (круг $\varnothing 300$ мм має 3 сегменти, а круг $\varnothing 700$ мм – 12 сегментів) [34].

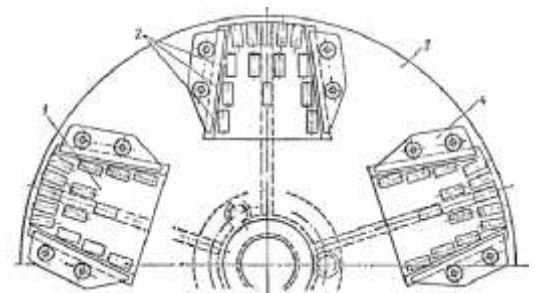


Рис. 2.48 Складений алмазний круг із сегментів „Франкфурт“ [34].

Елемент алмазний шліфувальний „Сектор“ (рис. 2.47, б) призначений для шліфування мозаїчних підлог, підлог з природного каменю, тощо. Встановлюють на мозаїчно-шліфувальні машини. Три типи по зернистості – 500/315, 250/160, 100/63. Вартість 32...28\$.

Елемент алмазний шліфувальний „Трапеція“ (рис. 2.47, в) призначений для шліфування плоских поверхонь. Кріплення типу „ластівчин хвіст“. За зернистістю 4 типи – від 630/400 до 100/63. Вартість 46...40\$.

Алмазні шліфувальні головки

Алмазні шліфувальні головки призначені для грубої, напівчистої і чистої обробки мозаїчних підлог на мозаїчно-шліфувальних машинах (наприклад, моделей СО-111, СО-199) із безперервною подачею рідини у зону різання (можлива обробка без охолодження). У комплект входять 6 головок діаметром 100 мм з різною зернистістю.



Рис. 2.49 Алмазна шліфувальна головка

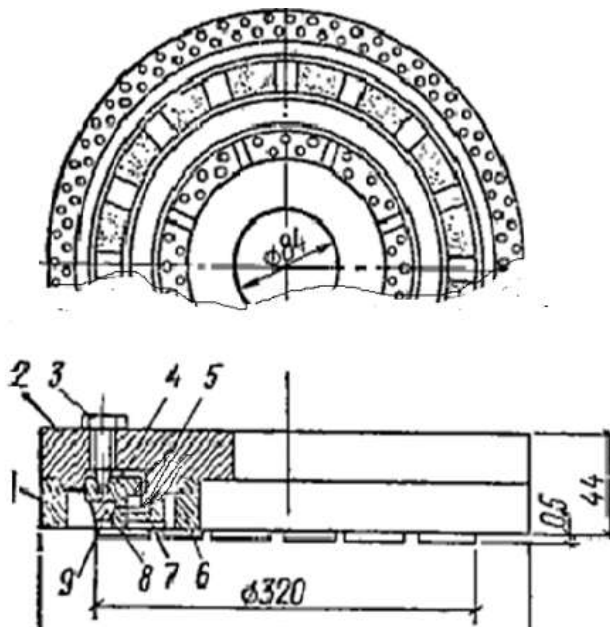


Рис. 2.50 Алмазна головка для грубого шліфування АГШГ [34].

Інститутом надтвердих матеріалів АНУ розроблено комплект кругів (головок) для всіх стадій шліфування. Алмазна головка для грубого шліфування (обдирка) граніту (рис. 2.50) складається з корпусу 2, зовнішнього 1 і внутрішнього 6 опорних кілець, робочого кільця 8, підкладки з алмазними елементами 9, що її закріплено на основі 4, яку поєднано з корпусом 2 різьбовим з'єднанням, запобіжником від повороту і фіксатором. Робоче кільце містить встановлювальне 5 та ущільнює 7 кільця. Опорні кільця 1 та 6 містять 130 твёрдосплавних вставок. У крузі 16 алмазних елементів, вони складаються з порошку синтетичних алмазів (зернистість 315/250-400/315, зв'язка МЖ, концентрація алмазів – 50%) із загальною масою алмазів 68,8 каратів.

Перед початком роботи фіксатор 3 вигвинчують, повертають основу 4 з алмазними елементами 9 відносно кілець 2 та 3; забезпечують, щоб алмазні елементи виступали на певну величину. Потім робоче кільце фіксують (загвинчують і стопорять фіксатор). У випадку зношення алмазних елементів їх знову висувають відносно поверхні опорних кілець.

Для грубого шліфування та калібрування мармуру призначено інший вид алмазних голівок. Діаметр 450 або 675 мм, кількість алмазних елементів відповідно 72 або 120. Кут між алмазними елементами – 5° або 3° . Зернистість 400/315-250/200, концентрація алмазів – 50%, зв'язка – МЗ.

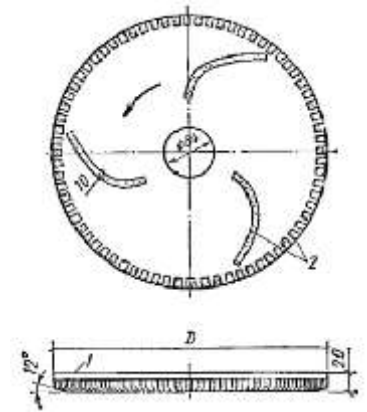


Рис. 2.51 Алмазна головка для грубого шліфування мармуру [34].

Випускають головки АГШГ для грубої шліфовки та АГШЧ для чистової та напівчистової (середньої та доводочної). Вони також виготовляють у 2-х виконаннях: АГШГ – для шліфування мармуру, лабрадориту та граніту з висотою нерівностей до 1 мм (1) та для мармуру і лабрадориту з висотою нерівностей 1-2 мм (2), а АГШЧ – для використання на коліно-важільних верстатах (1) та на мостових і порталних із гідросистемою притискання інструменту (АГШЧ2).

Діаметри головок 160, 250, 320, 450 мм.

Алмазні елементи – з порошоків синтетичних алмазів АС15 та АС32 на металевому в'язучому матеріалі, зернистість 315/250...28/20 (для доведення). Концентрація алмазів 50 % для грубої та середньої та 100 чи 150 % для доводочної шліфовки.

Залежно до стадій шліфування зернистість абразиву становитиме: для обдирання – 125-80; для грубого шліфування – 63-32; для середнього шліфування – 25-12; для тонкого – 10-5; для лощення – М40-М20; для доведення – М14-М7. Згідно із вказаними зернистостями абразивний інструмент позначають номерами від 1 до 6.

Алмазні гнучкі шліфувально-полірувальні круги – незамінний інструмент для шліфування й полірування граніту, мармуру, кераміки, бетону тощо. Порівняно з абразивними кругами мають вище ефективність через високу зносостійкість та зменшення часу й зусиль для отримання якісного результату, завдяки гнучкій основі дозволяють провести обробку у важкодоступних місцях та вигнутих поверхнях.

Виготовляють ці круги із зернин алмазу різних фракцій шляхом нанесення їх на пластичну основу із фіксацією для збереження гнучкості спеціальним полімером, сталим відносно зношення й впливу високих температур. На звороті знаходиться спеціальна „липучка“, за допомогою якої диск фіксують на переходнику М14 і встановлюють на кутову шліфувальну машину.

Алмазні гнучкі шліфувально-полірувальні круги поділяються на два типи:

- для обробки з водяним охолодженням – тобто мають конструкцію для подачі води в кількості, яка є прямо пропорційною до розміру абразивних зернин, тобто при первинній обробці більше, а при поліруванні – мінімальне;
- для обробки «на сухо».

Номера дисків позначають зернистість алмазної крихти: найгрубіша має № 30, найдрібніша для полірування – № 3500. Для надання каменю глянцею існують спеціальні круги із зернистістю BUFF, які можуть замінити повсть із полірувальним порошком.

Обробку здійснюють у кілька етапів: на початковій стадії на поверхні лишаються досить значні заглибини, які поступово на подальших стадіях перетворюються у подряпини, глибина яких всяк час зменшується і доходить до стадії полірування. Для дисків № 30-№ 800 рекомендовано швидкості обертання 2000-3600 об/хв, а більш за № 1000 – не більш за 1200-1500 об/хв.

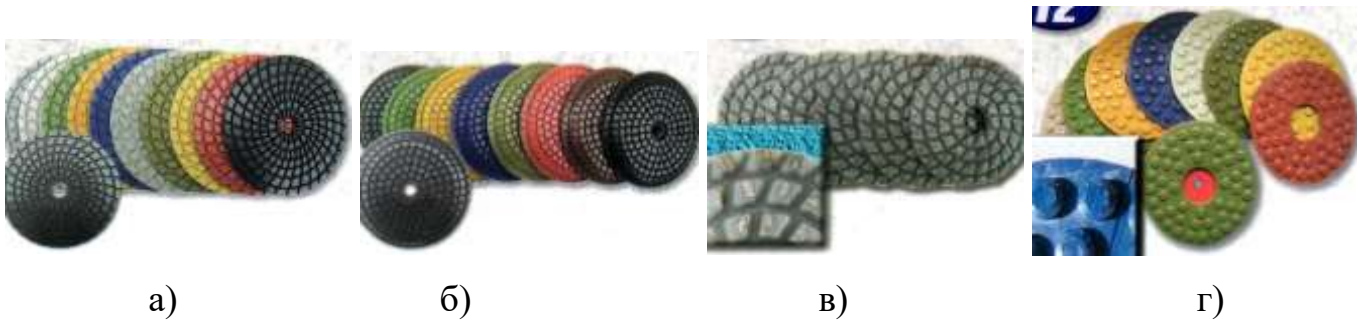


Рис. 2.52 Шліфувальні та шліфувально-полірувальні гнучкі диски для обробки граніту й мармуру з центральною подачею води.

- а), б) – круги еластичні типу «липучка» для шліфування й полірування. Позначено: а) – стандартні Ø 100, 125, 150 мм з грануляцією 00, 100, 200, 300, 400, 600, 800, 1500, 2000, 3000; б) – економічні Ø 100 мм з грануляцією 00, 100, 200, 400, 800, 1500, 2000; в) – алмазні сегментні гнучкі диски на полімерній основі з грануляцією 00, 1, 2, 3, 4 для шліфування; г) – Круги еластичні з покращеними характеристиками для шліфування й полірування Ø 160, 250 із грануляцією 200, 300, 400, 600, 800, 1200, 1500, 2000, 3000.

Еластичний абразивний круг Klingspor RFR 654 – це спеціальний виріб концерну Klingspor який постачається під замовлення. Може мати різний зовнішній діаметр, ширину круга та діаметр посадочного отвору. Виготовляється з абразивним зерном на основі електрокорунду або карбїду кремнію. Зв'язка з спеціального штучного матеріалу може мати різну твердість – від м'якої до стійкої та твердої. Правильно підібравши зерно та зв'язку можна оптимально адаптувати агресивність шліфування еластичним абразивним кругом Klingspor RFR 654 в залежності від відповідного оброблюваного матеріалу чи способу використання. [<https://abrazivka.com.ua/abrazivniy-instrument-dlya-poliruvannya>].

Застосовують різного типу й зернистості алмазні трапеції (рис. 2.53), призначені для встановлення на дисках для радіально-консольних верстатів, конвеєрних ліній, машин для шліфування й полірування підлог з природного каменю. Кріплення трапецій здійснюють до планшайб (основа) за допомогою матеріалу типу «липучка». Липучки можуть бути гумові або пластикові. Дозволяють легко й швидко замінювати трапеції. Основою передбачено центральну подачу охолоджуючої води.

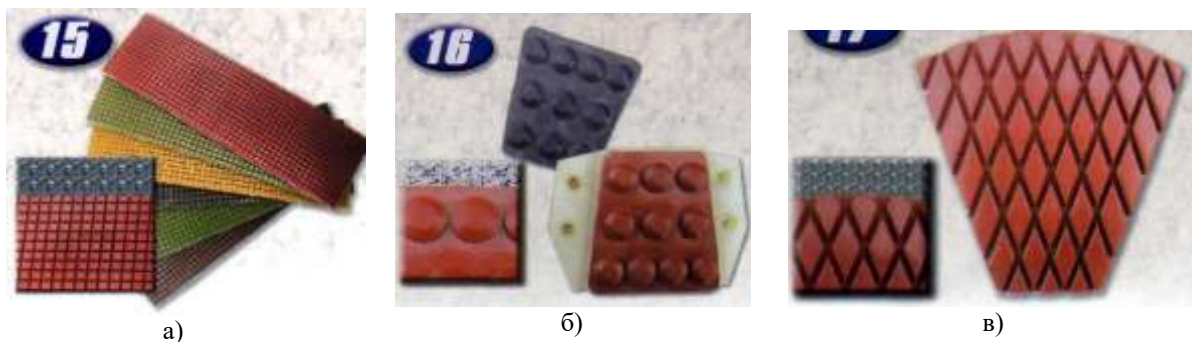


Рис. 2.53 Гнучкі елементи типу „липучка“ [<http://www.service-kamnya.ru/>].

- а) – алмазна гнучка смужка типу „липучка“ для дополірування граніту у важкодоступних місцях; б) – алмазні трапеції діакераміка на полімерній основі; в) – алмазні трапеції типу „липучка“ для шліфування і полірування граніту та мрамору з центральною подачею води.

Для підготовки поверхні каменю до полірування виготовляють 8 номерів алмазних дисків, наприклад, на полімерній основі, для граніту й 7 для мрамору. Комплект може складатися з однієї обдирної №0, трьох шліфувальних №1, №2, №3 та семи полірувальних дисків на полімерному в'язучому.

Приклад послідовності фактурної обробки [36]:

Кількість проходжень	1		2	2	2	1
Номери інструменту	№ 240	№ 400	№ 600	№ 800	№ 1200	Полірувальний
Зернистість, мкм	200/160	80/63	60/40	40/28	28/20	1/0

Рекомендації щодо режимів обробки при шліфуванні.

Основна вимога – забезпечити зусилля притискання, яке залежить від типу в'язучого. Розраховують за питомим тиском та площею контакту інструменту з оброблюваною поверхнею. Верстат повинен забезпечувати потрібне зусилля, в іншому разі треба зменшити діаметр інструменту. Якщо зусилля зменшується, падає продуктивність, якщо занадто збільшується – зростає зношення інструменту.

Рекомендований питомий тиск для інструментів з органічним в'язучим – не менш за 0,05 МПа.

Збільшення колової швидкості інструменту зумовлює зниження інтенсивності знімання матеріалу, але одночасно зменшується зношення й шорсткість. За високих швидкостей інструменту зернистість менше впливає на шорсткість. Тож рекомендується для збільшення стійкості інструменту й поліпшення якості обробки використовувати високі швидкості, а для збільшення інтенсивності обробки – застосовувати швидкість меншу, але обирати оптимальне значення.

Рекомендовані швидкості – від 2 до 16 м/с, тобто для інструменту D=250 мм це 150 об/хв-1200 об/хв.

Полірувальні круги

Три основних види:

1. повстяні та фетрові круги, що працюють із поліруючою суспензією;
2. жорсткі полірувальники з поліруючих матеріалів на синтетичному в'язучому
3. алмазні головки.

Полірування крайок здійснюють гнучкими алмазними кругами. Для складних профілів можуть бути застосовані повстяні круги з полірувальними пастами, порошками чи суспензіями.

1. **Повстяні круги** – це торцевий полірувальний інструмент, \varnothing 250-450 мм. Такий круг наклеюють на сталевий диск – корпус .

Ставилися спеціальні вимоги до повсті (наприклад, довжина пасм вовни – не менше 40 мм, міцність на розрив – не менше 3 МПа, модуль пружності $(1-3) \cdot 10^3$ МПа).

Як поліруючі матеріали найширше використовують порошки оксидів хрому, олова, алюмінію.

Застосовують найчастіше на коліно-важільних верстатах.

Повстяні круги використовують у разі потреби в особливо високій якості оброблюваної поверхні.

Для полірування граніту використовують повстяні круги, які армовано спіраллю із свинцевої стрічки, та порошок з оксиду олова з додаванням свинцю та сірки.

2. Жорсткі полірувальники останнім часом використовуються на конвеєрних, рідше – на мостових верстатах. Має постійні властивості протягом усього строку експлуатації. Не потребує використання полірувального порошку (відповідно немає потреби у пристроях подачі порошку). Інструмент складається із поліруючого шару, який наклеєно на металевій корпус. Іноді на робочому торці поліруючого шару виконують радіальні канавки для води.

Зовнішній діаметр \varnothing (300 ... 450) мм.

Поліруючий шар містить оксиди хрому, алюмінію, олова тощо та в'язучий матеріал у вигляді епоксидної смоли.

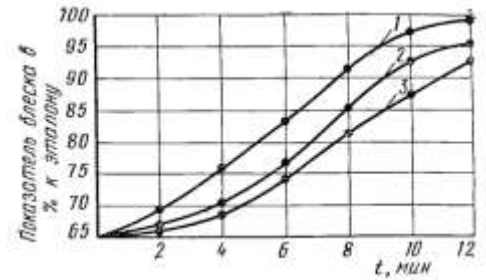


Рис. 2.54 Здатність полірування: 1 – оксид хрому; 2 – оксид алюмінію; 3 – оксид олова [24].



Рис. 2.55 Алмазні полірувальні круги. Фірма-постачальник

[<https://granitlion.com.ua/ru/>]

Позначено: а), б), в), г) – алмазні полірувальні круги; д) – тримач типу «липучка» на гумовій основі

Коментарі до рис. 3.49:

а) – Алмазні полірувальні круги „4 кроки“ ($\varnothing 100$ мм та $\varnothing 250$ мм) застосовують для полірування виробів з граніту й мрамору у три етапи: полірування без води (№ 1 та № 2); полірування з водою (№ 3 та № 4); полірування губкою із застосуванням хімічних речовин для каменю. Встановлюють їх на малогабаритні кромко-шліфувальні машини і на стаціонарні верстати, на яких передбачено встановлення алмазних полірувальних кругів малого діаметру. Кріплення – липучкою. Виробник – Китай.

б) – Алмазні полірувальні круги „5 кроків“ ($\varnothing 100$ мм) мають 5 номерів, полірування обов’язково з водою. Виробник – Китай.

Алмазні полірувальні круги VD (Україна), серії Elite фірми Deks (Корея) різної зернистості призначені для полірування плоских поверхонь плит з натурального чи штучного каменю без застосування води, а полірувальні круги „Трикопелор“ (рис. , в)) $\varnothing 100$ мм (Китай) та Dialink $\varnothing 100$ мм та $\varnothing 150$ мм (Китай) різної зернистості – для шліфування й полірування плит обов’язково з водою.

Всі ці круги передбачають кріплення липучкою.

д) – тримач типу «липучка» на гумовій основі, випускають трьох типів – жорсткі, м’які та звичайні. По центру мають отвір для подачі охолоджуючої рідини. Посадковий розмір М 14×2.

3. Алмазні полірувальні головки АГП схожі на шліфувальні головки АГШЧ.

Зовнішні діаметри головок: 160, 250, 320, 450 мм.

Головка містить сталевий корпус, еластичну матрицю з гранульованого пластика з наклеєними на неї алмазними елементами, двох дисків і еластичної прокладки з губчастої гуми. Алмазні елементи мають шар з порошків синтетичних алмазів (концентрація 100 %) на еластичному в’язучому, що містить каучук, і на тканинній основі. Алмазні полірувальні головки мають високу зносостійкість при обробці порід середньої міцності (мрамур, травертіни, доломіти тощо), але вартість їх досить висока.

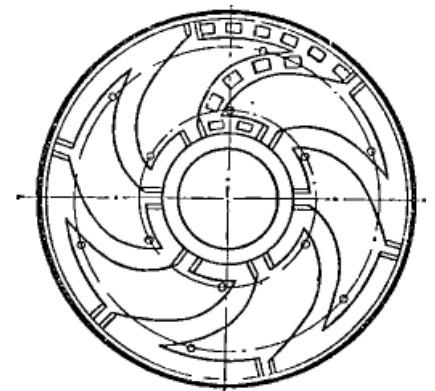


Рис. 2.56 Алмазна полірувальна головка АГП



Рис. 2.57 Алмазні шліфувально-полірувальні головки.

а) – Головка для шліфування і полірування природного каменю будь-якої твердості.

Виробник – Україна; б) – Алмазні шліфувальні головки 160 №1 (Klingspor, Німеччина)

<https://abrazivka.com.ua/almazniy-instrument/shlifivalni-almazni-chashki-ta-almazni/almazni-chashki-klingspor/almazna-chashka>

На рис. 2.58 показано полірувальну планшайбу із свинцем, а на рис. 2.59 планетарну полірувальну головку для АГШК (не придатна для усунення перепадів більш за 0,5 мм) діаметром 125 мм.



Рис. 2.58 Полірувальна планшайба із свинцем



Рис. 2.59 Планетарна полірувальна головка для АГШК

https://diammarket.ru/catalog/komplektuyushchie_dlya_mashin_mh/polirovalnaya_planshayba_so_svintsom/

3 МАШИНИ ТА ІНСТРУМЕНТИ ДОБУВАННЯ КАМЕНЮ

Мета застосування подібних машин – видобуток природного каменю, за звичай з гірського масиву. Лише після цього можна використати його для випуску будь-яких виробів: чи то облицювальних плит, чи то архітектурно-будівельних виробів, чи то виробів для дорожнього будівництва, тощо. Не будемо зупинятися на особливостях обладнання для виробництва гранітного щебню й використання відходів каменевидабування і каменеобробки. Для підготовки каменю до вилучення існують механічні, фізико-технічні і комбіновані способи [30]. Метою нашого огляду є машини та інструменти для видобутку в першу чергу блоків з метою їхньої подальшої обробки, наприклад, розрізування для того, щоб отримати облицювальні плити, а також штучних стінових каменів.

3.1 Схеми видобутку природного каменю

Мета: вирізування з гірського масиву штучних стінових каменів, великих блоків та плит, що їх застосовують при будівництві будівель, та для виробництва інших виробів з природного каменю.

Розрізняють блоки пиляні й колоті – залежно від технології й обладнання, що застосовуються для їхнього видобутку. Пиляними вважаються блоки, які мають щонайменше чотири грані, що отримані випилюванням. Колоті блоки виколують з гірської породи. Форма блоків близька до прямокутного паралелепіпеду.

Довжиною блоку „*l*“ прийнято вважати найбільший розмір вздовж природних шарів текстури, шириною „*b*“ – розмір, орієнтований по площині природних шарів, а висотою „*h*“ – розмір, перпендикулярний до цієї площини.

Розміри великих блоків, які потім розпилюють на плити, нормовані:

<i>Тверді породи:</i>	(100...2500)×(100...1300)×(650...1300) мм, вага 1,75...11,4 т, об'єм 0,65...4,2м ³
<i>Мармур:</i>	(600...1000)×(600...1000)×(600...1000) мм, вага 0,6...2,7 т, об'єм 0,22...1м ³
<i>Вапняк:</i>	(600...1500)×(500...1000)×(400...500) мм, вага 0,35...2,2 т, об'єм 0,75...0,12 м ³

При цих розмірах досягається найкраще завантаження каменеобробних верстатів, що їх використовують для подальшої обробки. Через неоднорідність породи виникають відхилення від заданих розмірів блоків. Точність обробки може бути досягнута за достатньої сталості машин і інструментів.

Розміри штучних каменів також стандартизовані, наприклад, $l \times b \times h = 390 \times 190 \times 190$ мм; $490 \times 240 \times 190$ мм тощо. Припустимі відхилення: по довжині (± 8) ... (± 12) мм, по висоті й ширині 5...10 мм.

Через те, що міцність породи не є постійною й часто зустрічаються включення більш міцних порід, ніж ті, для яких призначено машину, необхідні регулятори режимів і запобіжні пристрої. Необхідно передбачити надійний захист од пилу, бо експлуатація відбувається в абразивному середовищі. Повинні також бути механізми для прибирання і складання вирізаних каменів у штабель.

Великі блоки розрізують на плити різного призначення й розмірів. Наприклад, номінальні розміри плит облицювальних пиляних (відповідно до ДСТУ Б В.2.7-37-95 на плити та вироби з природного каменю) становлять $l \times b \times h = 150 \dots 1500 \times 150 \dots 1200 \times 8 \dots 40$ мм. Аналогічно встановлено розміри цокольних плит (пиляних та колотих), плит підвіконних, східців, парпетів, тощо. Смужка й шашка – $20 \dots 1500 \times 20 \dots 1500 \times 8 \dots 140$ мм. Передбачено гірську породу, з якої виготовляють ті чи інші плити та фактуру лицьової поверхні. Так, наприклад, облицювальні пиляні плити виготовляють з усіх видів гірських порід, а цокольні – з усіх, крім вапняку, доломіту й гіпсового каменю. Фактуру передбачають поліровану, гладку матову, шліфовану, пиляну, оброблену ультразвуком, термооброблену, точкову. ДСТУ обмежує також граничні відхилення від номінальних розмірів плит і пиляних виробів (загалом на рівні $\pm 1 \dots \pm 3$ мм, за винятком фактур „скеля“, термооброблена, точкова), відхилення від площинності, від прямокутності (± 1 мм на 1 м довжини граней для пиляних плит).

Придатність кам'яного масиву для видобування блоків (блочність масиву) задається родовищем: вихід товарних блоків визначається горно-геометричним аналізом структури масиву, тобто його монолітністю й типом та кількістю розколин. Застосовувана технологія видобутку каменю, зокрема, блоків каменю, повинна відповідати структурним особливостям родовища [26]. Саме ці факти зумовлюють економічну доцільність розробки родовищ облицювального природного каменю. Існують методики розрахунку та вибору раціональних розмірів блоків.

З підвищенням міцності каменю зростає трудомісткість відокремлення блоків від масиву, відповідно, зростає і їхня собівартість. За даними досліджень [16] відокремлення блоків від масиву є найбільш трудомістким процесом при розробці родовищ природного

каменю і у собівартості блоків його частка становить до 80 %. У кар'єрах родовищ міцних порід каменю використовують буровибуховий і буроклиновий спосіб відокремлення блоків, які дають колоті блоки, що мають незадовільні характеристики (геометрична форма з відхиленнями, що викличе в майбутньому неповне завантаження каменеобробних верстатів, порушення монолітності, поганий стан поверхні на бічних гранях через відколи, тощо). Все вищесказане також впливає на собівартість. Застосовують також невибухові руйнівні засоби (наприклад, в Україні – хімічні генератори тиску), термічне різання, алмазно-канатне розпилювання. Часто використовують комбінацію алмазно-канатного розпилювання та шпурового способу для відокремлення моноліту, а для розпилювання на блоки – шпуровий спосіб із застосуванням різних розпірних засобів (з врахуванням природних особливостей порід моноліту). Руйнування породи термічним способом відбувається при температурному нагріванні й виникненні різниці напружень в окремих шарах, ефективним є для порід із значним вмістом кварця (вище за 30 %).

Всі способи характеризуються значними втратами сировини, значною часткою немеханізованої праці, невисока продуктивність. Ці недоліки відсутні за використання алмазно-канатного інструменту, але цей інструмент є вартісним, а витрати його значні. Застосування алмазно-канатного інструмента при видобутку граніту стримується відсутністю обґрунтованих рекомендацій режимів експлуатації, хоча наявні відповідні дослідження процесів, технології, засобів автоматизації, як теоретичні, так і експериментальні. Однією з рекомендацій є визначення оптимальної висоти блоку чи моноліту, які відокремлюються від масиву, з умови мінімуму витрат на наступне розпилювання (відрізняються для різних родовищ). Так, наприклад, для порід невисокої міцності висота становить більш за 2,5 м, високої міцності – менш за 1,2 м, а довжина відповідно до умов може складати 35-45 м [29].

Технологія ведення гірських розробок передбачає наступне.

Для гранітів:

- вилучення шару зайвого ґрунту й породи (російський термін – „вскрышные работы“);
- відокремлення монолітів від масиву (буровибухові, буроклинові роботи, алмазно-канатне устаткування для пропилів у вертикальній поздовжній та поперечній

площинах та відокремлення у горизонтальній площині шпуровим способом тощо);

- відтягування монолітів від забою для наступної обробки;
- розколювання монолітів на товарні блоки;
- пасерування блоків (груба обробка, надання форми паралелепіпеду).

Для мармуру:

- вилучення шару зайвого ґрунту й породи;
- випилювання товарних блоків безпосередньо з масиву каменерізними машинами з кільцевими фрезами або баровими пилами, великих монолітів – канатними пилами з наступним розпилуванням на товарні блоки або їх розділяють іншим способом (наприклад, буроклиновим способом).

В обох випадках завершальною стадією є транспортування товарних блоків на підприємство для подальшої обробки.

Продуктивність кар'єрів з видобутку блоків з граніту та аналогічних порід становить 2-5 тис. м³ на рік, для великих кар'єрів – 10-12 тис. м³ на рік. Середній вихід блоків на гранітних кар'єрах складає 20-30 %, на окремих підприємствах 50 % і більше.

Продуктивність кар'єрів з видобутку блоків з мармуру відповідно 2-4 тис. м³ і 10-40 тис. м³ і більше на рік, а вихід блоків складає 15-20 %, досягає в окремих випадках 30-35 % [12].

Видобуток блоків природного каменю (в першу чергу – мармурових та гранітних) відкритим способом здійснюється за трьома схемами: одно-, дво- й тристадійною [25, 30, 31].

На пластових родовищах блоки від масиву відділяють найчастіше за одностадійною схемою, тобто висота уступу дорівнює висоті блоку, і одразу отримують товарні блоки стандартних розмірів і форми (об'єм 1-10 м³). Це характерно для роботи з горизонтальними шарами. За цієї технології висота уступу знаходиться в межах 3 м і містить 1, 2 або 3 пласти. Зараз цю схему застосовують значно рідше. У разі збільшення товщини пластів застосовують двостадійну схему: товарну продукцію отримують з використанням додаткових операцій, які виконують у межах кар'єру після відокремлення блоків

великого розміру (об'єм 80-800 м³, наприклад відокремлюють моноліт довжиною 40-60 м за висоти 1-2 м та шириною 1-1,5 м [31]), які відрізняються від розмірів та форми блоків згідно технічних вимог. Лише після того, як у кар'єрах з'явилися алмазно-канатні машини, які дозволяють у широких межах змінювати лінійні розміри випилюваних блоків і висота уступу для них не є фіксованою (може сягати 12 м), стало можливим використовувати сучасну високоуступну двостадійну технологію видобутку каменю. Схему спочатку було впроваджено при видобуванні мармуру. Зараз видобуток у дві стадії за високих уступів (поєднання алмазно-канатних машин та додаткової обробки) застосовують більше як на 90 % родовищ мармуру. Порівняно з одностадійною схемою видобутку із застосуванням барових каменерізних машин вихід товарної продукції збільшують в середньому на 65 %, в основному за рахунок зниження технологічних втрат.

За сприятливого розташування горизонтальних шарів граніту також можна отримати вихід блоків до 75 %, але за звичай наявні тріщини різного типу і скерованості та вихід блоків на таких родовищах становить 10-60 %. Саме застосування машин із гнучким інструментом (в даному разі – алмазно-канатних) дає можливість вплинути на вихід товарних блоків. Високі питомі витрати вартісного гнучкого алмазного інструменту при добуванні порід типу „граніт“ у порівнянні з породами середньої міцності (мармур) стримували застосування алмазно-канатних машин, але поступово технологія й обладнання вдосконалювались, виробництво алмазного інструменту здешевлювалося і двостадійне добування впроваджується при видобутку граніту, особливо у важких умовах залягання. Алмазно-канатні пили застосовують також при пасеруванні блоків, тобто наданні їм правильної форми.

Тристадійна схема відрізняється відокремленням від масиву ще більшого моноліту (300-3000 м³ із використанням алмазно-канатної машини (наприклад, машиною фірми Grani Roc (Іспанія) потужністю у 55 кВт із діаметром ведучого шківів 810 мм та продуктивністю 10 м²/год [25]), відокремленням від первинного моноліту вторинних монолітів та наступним поділом їх на товарні блоки. Алмазно-канатна пила дозволяє здійснювати вертикальні, горизонтальні й нахилені пропили. Вона рухається по рейковому шляху й забезпечує постійне натягування канату. Застосовують також буріння свердловин та шпурів для горизонтальних чи вертикальних пропилів, відокремлення монолітів чи

блоків клинами і перевертання моноліту для подальшого поділу. Комбінація алмазно-канатного пиляння та шпурового способу при відокремленні моноліту визначається природними розколинами масиву. На практиці найчастіше застосовують двостадійну схему. Докладніше про послідовність обробки й виконувани різі в [12].

Системи розробки каменю можуть бути з низькими уступами або з високими. За низькоуступної системи висота уступу не перевищує 0,41 м (висота двох стандартних каменів плюс товщина розпилу), за системи з високими уступами – до 3 м і більше (висота уступу за високоуступної системи обирається згідно з конструкцією машини та схемою видобутку). Збільшення висоти уступу підвищує якість продукції завдяки точнішим розмірам, які витримуються. Впровадження високоуступного видобутку для стінового каменю стримується тим, що існуючі для цього машини розраховані на розробку родовищ каменю з міцністю до 3,5 МПа і не придатні для міцніших порід.

Систему розробки обирають залежно від глибини залягання породи і співвідношення глибини залягання і шару ґрунту, який треба вилучити, щоб почати відкриту розробку (розкривна виробка), тобто за промисловим розкривним коефіцієнтом:

$$K_{np} = \frac{V_B}{V\eta} ,$$

де V_B – об'єм робіт з видалення на потрібну глибину шару ґрунту й породи, якій необхідно видалити до початку відкритих розробок, м³

V – об'єм пильного каменю, що добувається, м³

η – коефіцієнт виходу готової продукції з гірської маси.

Відкриті розробки раціональні, якщо граничний розкривний коефіцієнт становить

$$K_e \leq \frac{C - A}{B} ,$$

де C – вартість 1 м³ каменю, здобутого підземним способом;

A – вартість 1 м³ каменю, здобутого відкритим способом;

B – вартість зняття й переміщення 1 м³ ґрунту породи, яку видаляють.

Визначення економічної доцільності відкритих розробок приблизне, бо вартість здобутого каменю змінюється в широких межах, в першу чергу залежно від рівню механізації.

Для вилучення шару зайвого ґрунту й породи використовують землерийні машини, спеціальні машини у комплексі з каменедобувними (шнекові й аналогічні за призначенням машини в поєднанні з транспортуючими). При використанні з цією метою вибухового способу для попередження появи розколин у матеріалі над корисним пластом залишають шар незруйнованого матеріалу товщиною 1-1,5 м. Залежно від потужності, монолітності і однорідності корисного пласту обирають висоту уступу (від 0,4 до 2,8 м). Однорідні пласти доцільніше розроблювати більш високими уступами.

Розробка вапняків підземним способом ведеться у 2-х випадках: за значної глибини залягання пластів або за необхідності добувати камінь при низьких зимових температурах (щоб попередити промерзання породи й утворення розколин).

Підземним способом пласт розроблюють високими уступами (1,8-2,6 м). Із збільшенням розмірів вирізаних блоків зменшується кількість відходів, які припадають на одиницю об'єму вирізаного корисного каменю: великі блоки розрізують на штучне каміння, інструменти при цьому мають меншу товщину, ніж ті, що їх застосовують на каменерізних машинах, що й зумовлює зменшення відходів.

3.2 Спеціальні інструменти для видобутку блочного каменю

Дискові пили містять суцільний металевий диск, в спеціальних гніздах якого, розташованих по колу, закріплені різці. З цією метою недоцільно застосовувати зварювання, бо це призводить до короблення дисків, замінити різці важко. Механічним способом закріпити різці важко, бо товщина диску 8-10 мм при діаметрі 600 мм. Дискова пила встановлюється на валу, кріпиться гвинтами до фланцю.

Застосовуються для вертикальних надрізів, при яких у породі знаходиться невелика частка пили, тобто умови роботи легші, ніж при відрізанні блоку від масиву, коли у контакт з каменем знаходиться вся торцева поверхня диску. Пили для відрізання блоку повинні бути жорсткішими. Чим тонший диск, тим менший опір різанню. Для зменшення короблення диску в ньому вирізують отвір. Диски обов'язково рихтують для підвищення жорсткості. Розраховують диски на сталість (при втраті сталості – випинання диску). Дискові пили з твердосплавними різцями мають діаметри 800, 1100, 1300, 1650, 2000, 2400 мм. Застосовують їх для різання каменю з міцністю до 25 МПа. Дисковими пилами оснащено 85 % каменерізних машин для розробки родовищ природного стінового каменю (<https://dic.academic.ru/>).

Для розрізування каменів низької міцності використовують дискові твердосплавні пили у вигляді сталевого диска $\varnothing 680-1760$ мм з розташованими по колу знімними радіальними різцями (24-60 шт. шириною 16-28 мм), армованими пластинками твердого сплаву різної форми (рис. 3.1). Найпоширенішими формами твердосплавних пластинок є прямокутна лопатка, лопатка з однією або двома скошеними гранями, напівкругла. Різці часто розташовують по трипозиційній схемі і чергують форми лопаток. Наприклад, у режимі блокованого різання різці напівкруглої форми забезпечують втричі більше зусилля, бо не мають концентраторів напруження, які зумовлюють сколювання, викришування й зношення різців. Кріплення: гвинтами або штифтами, клинами, ексцентриковими затискними пристроями тощо.

По колу у корпусі виконано пази, наприклад, у формі ластівчиного хвоста, а у торці – отвори для елементів кріплення. Різці складаються з корпусу й твердосплавної пластинки, яку припаяно до корпусу різця. Встановлюють різці почергово: праві й ліві для бічного різання й середні – для вільного. Фреза може занурюватися у камінь на 0,4 діаметра фрези.

За діаметрів, менших ніж 500 мм, та для порід міцністю до $35-50 \text{ Н/мм}^2$ застосовують простішу конструкцію: твердосплавні пластинки припаяні безпосередньо до дисків товщиною 3,5-4 мм. Можливим є використання сегментів з твердосплавними пластинками.

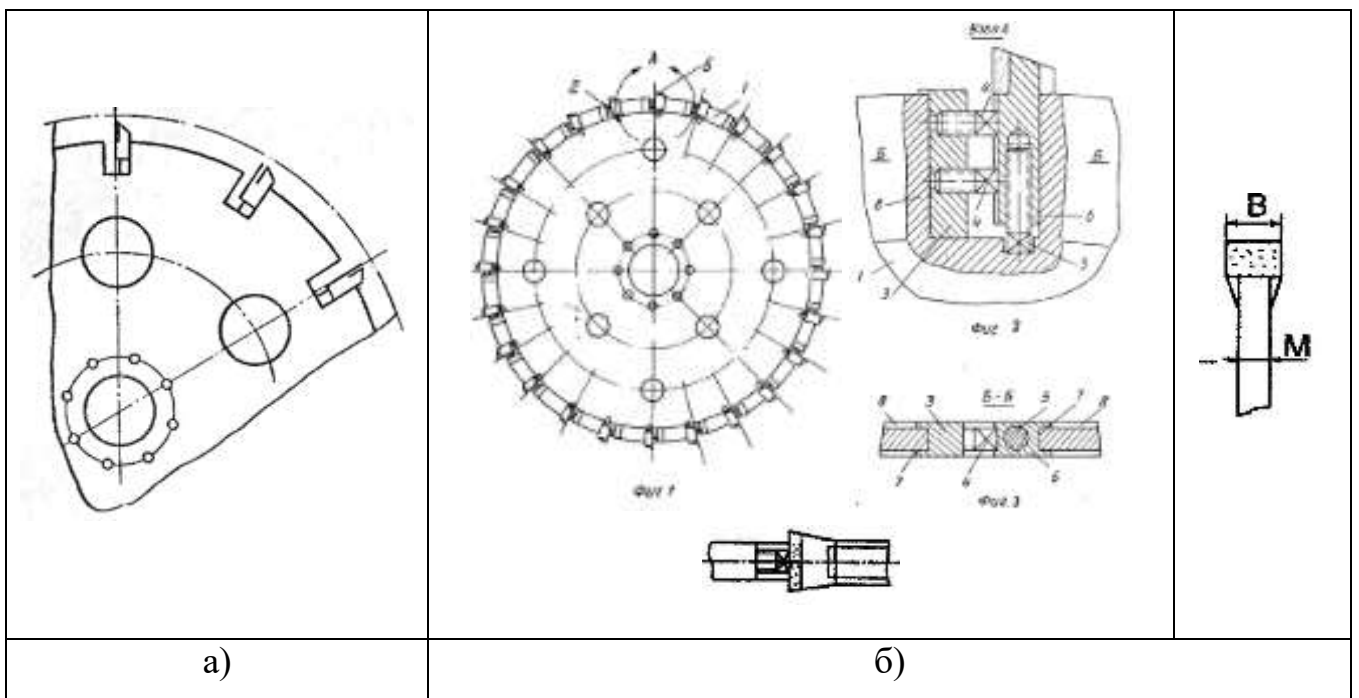


Рис. 3.1 Дискові твердосплавні каменерізні пили.

На рис. 3.1, б подано конструкцію [11] (фіг. 1 – загальний вигляд; фіг. 2 – вертикальний розріз А; фіг.3 – розріз Б-Б). Позначено: 1 – диск 2 – пази у вигляді прямокутних отворів, 3 – планка, 4 – розпирний гвинт, 5 – регулівний гвинт (регулює виліт різця над корпусом), 6 – різець. Різець та планка 3 мають канавки 7, що контактують із стінками 8 пазів 2 і фіксують різці у бічному напрямі. Додатково диск має круглі отвори для зменшення ваги.

Дискові пили з твердосплавними різцями мають діаметри 800, 1100, 1300, 1650, 2000, 2400 мм. Застосовують їх для різання каменю з міцністю до 25 МПа.

Використання замість твердосплавних пил **алмазних відрізних кругів** збільшує продуктивність каменерізних машин у 2,5 рази. У Бельгії й Франції для видобутку облицювальних порід міцних, середньої міцності й м'яких застосовують каменерізні машини „Дельфін“ з відрізними кругами $\varnothing 2,5$ м та $\varnothing 3$ м, які армовано алмазними сегментами. Використання таких машин вимагає великої кількості води для охолодження диску.

Недоліком будь-яких дискових пил є малий коефіцієнт використання діаметру диску, перевагою – забезпечення пропилу мінімальної ширини при простоті конструкції та надійності експлуатації.



Рис. 3.2 Планетарні дискові фрези:

- а) – для обробки порід середньої міцності;
- б) – для обробки твердих порід.

Використовують також **планетарні дискові фрези** для обробки порід середньої міцності й твердих. Процес розпилювання характеризується значно меншими зусиллями, які виникають при руйнуванні породи, тобто зменшуються вібрації інструменту і, відповідно, зменшується шум.

По периферії планетарної дискової пили встановлені фрези, що обертаються. При розпилюванні каменю сам диск обертається у площині, що паралельна площині, в якій розташовані осі обертання фрез (тобто вісь обертання диска горизонтальна, а осі обертання фрез є радіальними).

Кільцеві фрези – для порід міцністю 12-160 Н/мм². Кільцеві фрези призначені для вирізування великих блоків з міцних порід, тобто процес характеризується

значними зусиллями різання. Тому фреза товща, ніж звичайна дискова пила. Диск, виготовлений із сталі 50, має товщину 22-26 (до 34) мм. Фреза може здійснювати пропили на глибину 0,7-0,75 свого діаметра (кільцеві фрези $\varnothing 1380$ мм забезпечують глибину пропилу до 1035 мм). Ширина пропилу в межах до 36-40 мм.

У країнах СНД серійно випускають кільцеві фрези з наступними технічними характеристиками: зовнішній діаметр 1380 мм, максимальна глибина різання 1050 мм, товщина фрези 34 мм, загальна кількість різців – 44 (центрального – 8, правих та лівих – по 18), кількість роликів підшипника кочення 393 шт., діаметр роликів – 8 мм. Розробляються й випробовуються фрези діаметром 1590 та 1800 мм. Для добування штучного каменю розроблена (НВО „Камінь та силікати“, Вірменія) кільцева фреза з регульованими по вильоту різцями.

Недоліки кільцевих фрез:

- конструктивна складність і висока вартість;
- велика маса (понад 200 кг);
- велика товщина пропилу (до 40 мм); обмежений ресурс (не перевищує 1,5-2 тис. годин), який різко знижується при збільшенні швидкості різання

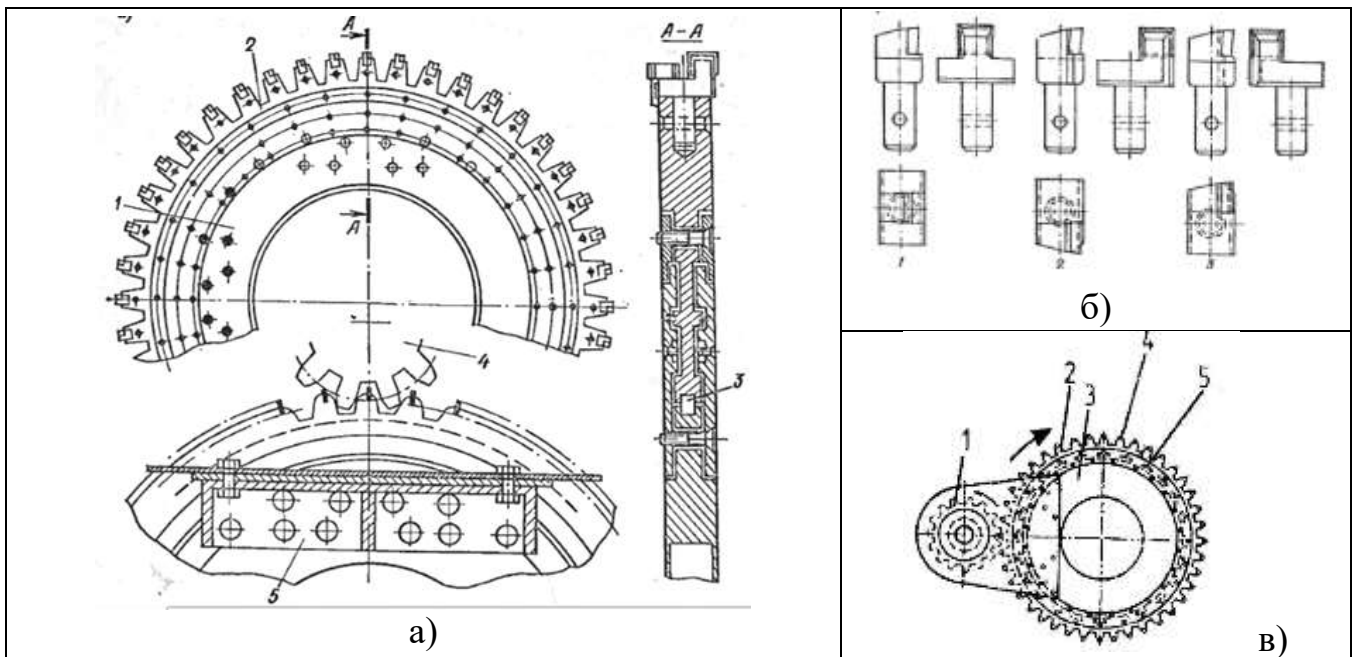


Рис. 3.3 Кільцева пила (фреза).

- а) – позначено: 1 – опорне кільце; 2 – зовнішнє кільце; 3 – ролик;
 4 – ведуче зубчасте колесо; 5 – консоль; б) – типи різців кільцевої пили: 1 –
 центральний; 2 – правий; 3 – лівий; в) – позначено [1]: 1 – ведуча шестерня; 2 –
 рухоме кільце; 3 – нерухомий диск; 4 – різці; 5 – сальникове кільце.

Нерухомий диск 1 (рис. 3.3, а) периферією закріплюється жорстко на рамі каменерізної машини (на консолі 5). На зовнішньому діаметрі розташовані ролики або шарики 3, на них надягнуто кільце 2. Кільце 2 виконане як великомодульне ведене колесо зубчастої передачі із евольвентним зовнішнім зачепленням, зубці якого одночасно використовуються для закріплення твердосплавних різців та передають обертання від ведучого колеса 4 невеликого діаметру. Кільце 2 обертається на роликах як зовнішнє кільце безсепараторного підшипника кочення. Ролики й поверхні тертя диска й кільця захищені сальниковими дисками або лабіринтним ущільненням, яке система колець утворює з проточкою різального кільця.

Твердосплавні різці (найчастіше з пластинами сплаву ВК 8) встановлюють на вершинах зубців зовнішнього кільця за трипозиційною схемою: лівий, правий, центральний (різці показані на рис. 3.3, б). Центральні (середні) різці не виступають по діаметру, працюють в режимі вільного різання (з боків камінь руйнують правий та лівий різці), тобто умови сприятливіші, ніж для бічних різців, тому й кількість центральних різців може бути менша. Геометричні параметри різців: $\gamma = 4^\circ$, $\alpha = 15^\circ$. В процесі експлуатації пилу змащують через спеціальні отвори, які закриті пробками.

Фреза виходить з ладу найчастіше через зношення бігових доріжок кочення підшипника, а саме кільце з різцями зберігає працездатність до 6-8 тис. годин експлуатації. Зношення бігових доріжок зумовлює розворот роликів в решті-решт до заклинювання різального кільця у підшипнику. Для запобігання подібній ситуації підшипник кочення замінюють підшипником ковзання або на канавках кочення створюють твердосплавне покриття.

Найефективнішим використанням довжини різання (до 80–90%) характеризуються бари. З точки зору технології цей інструмент найдоцільніший. Однак йому притаманні і певні недоліки: значна ширина пропилів – до 12-15 мм, можливість використання лише на слабких породах каменю (до 5МПа), швидке зношення зумовлене великою кількістю рухомих ланок, проблематична автоматизація.

В разі обрання типу інструменту каменерізних машин рекомендують застосовувати рекомендації Б. М. Родіна (<https://dic.academic.ru/>)

Порівняльна характеристика каменерізних інструментів

Показники	Дискові пили	Ланцюгові бари	Кільцеві фрези
Міцність каменю, МПа	1-25	1-10	20-160
Товщина пропила, мм	18-25	25-40	40-50
Максимальна швидкість робочої подачі, м/хв	До 9	До 2	До 1,7
Відносні витрати електроенергії на 1 пог. метр пропила (за однакових умов), %	100	120-125	200-250
Зносостійкість (за однакових умов), %	100	100-150	300-700
Складність виготовлення, %	100	320	480

Горизонтальний пропил алмазно-канатним устаткуванням здійснюють під кутом 2-4° вглиб масиву для можливості подачі води до місця контакту канату з каменем (альтернативний варіант – подача води підтиском по вертикальній свердловині).

3.3 Каменерізні машини

Призначення: вирізування з гірського масиву штучних стінових каменів, великих блоків та плит, що їх застосовують при будівництві будівель, відокремлення монолітів природного каменю.

Каменерізні машини для добування стінових і облицювальних каменів поділяються на машини для відкритих розробок каменю й машини для підземної розробки каменю.

Розрізняють:

1) – за конструкцією різального органу: машини з дисковими пилами, з кільцевими фрезами, з різальними ланцюгами (барами) та алмазно-канатні. Конструкцію різального органу обирають виходячи з міцності каменю (табл. 3.1);

2) – за розташуванням каменерізних машин відносно уступу:

– підшвоуступні, що розташовуються на підшві уступу;

– надуступні, що розташовуються на покрівлі уступу;

– комбіновані, тобто такі, що розташовуються частково на підшві, частково на покрівлі уступу (одна з назв – „уступні“).

Технологія добування штучного каменю:



Рис. 3.4 Підшвоуступна
дискова каменерізна машина

1. Виконують поперечні надрізування по ширині забою перпендикулярно до напрямку траншеї. Ці надрізування визначають довжину штучного каменю. Після кожного надрізування машина переміщується на крок, який відповідає подвоєній довжині каменю.

2. Підрізування уступу горизонтальними пилами. Ця операція визначає ширину штучного каменю. При цьому здійснюється безперервне пересування машини вздовж забою.

3. Відокремлення (відділення) каменю від масиву вертикальними пилами. Здійснюється при безперервному пересуванні машини вздовж забою (тиловий пропили).

При цьому 2 та 3 операції виконуються одночасно.

Машини поділяють на:

- універсальні, які можуть виконувати всі 3 операції – поперечні, горизонтальні та тиллові пропили;
- операційні, які виконують лише одну операцію;
- агрегати, які поєднують кілька операційних машин, що мають спільне керування і напрям руху.

Технологія видобутку блоків аналогічна.

Для великих стінових блоків використовують машини СМ-589А, СМ177-А, СМ-428, для стандартного каміння – СМ-89А, СМ-518, СМ-826.

Всі ці машини призначені для відкритих розробок. Вирізують породу уступами між рейками. Інструмент – дискові пили або кільцеві фрези.

3.3.1 Машини з дисковими пилами

Машина з дисковими пилами СМ-89А (рис. 3.6)

Область використання – відкриті розробки. Комбінована, розрахована на роботу з низькими уступами. Призначена для вирізування штучного будівного каменю із вапняків міцністю до 10 Н/мм^2 , розміром $49 \times 24 \times 18,8$ або $39 \times 19 \times 18,8$ см.



Рис. 3.5 Машина з дисковими пилами низькоуступна (підшвоуступна)

Вздовж забою прокладено рейки: одну — на підшві, другу — на самому уступі. Відстань між рейками – 4400 мм. Породу вирізують між рейками.

Машину оснащено трьома пилами (можливо, що й чотирма): двома вертикальними та одною (або двома) горизонтальною. Вертикальні пили можна повертати разом з приводом на 90° , тобто використовувати за потребою для поздовжнього або поперечного прорізування.

Основою машини є рама із швелерів, яка має котки для руху вздовж рейок. Привод здійснюється від двох карданних валів (два приводні катки з одного боку).

На цій рамі розміщені поперечні рейки, по яких пересувається візок з котками. Всі чотири котки є приводними (два котки – валами від коробки передач, два інших – ланцюговою передачею від першого ведучого валу). На візкові розташовано поворотний стіл, на якому знаходяться коробки передач, що надають рух пилам. Стіл змонтовано на роликах з можливістю повороту на $\pm 180^\circ$.

Під час здійснення вертикального та горизонтального різання візок закріплено гвинтовими затискачами до рейок основної рами, що збільшує жорсткість системи та знижує вібрації. Під час поперечного різання сам візок рухається за упорами. При поздовжньому різанні візок встановлюють певним заданим чином відносно основної (нижньої) рами.

Вертикальні пили встановлено консольно: довжина консолі становить близько 1000 мм. Цей факт може спричинити значні вібрації, тому редуктор привода руху вертикальних пил має масивний корпус-кронштейн. Якщо при експлуатації можуть

виникнути перекося та деформації пил і, відповідно, значні осьові зусилля, вал встановлюють на конічних підшипниках, які сприймають комбіновані навантаження.

Горизонтальні пили працюють в дещо важчих умовах, бо пила торцевою поверхнею стикається з каменем, треба враховувати додаткові навантаження від сил тертя (зусилля різання збільшують у 1,2-1,25рази).

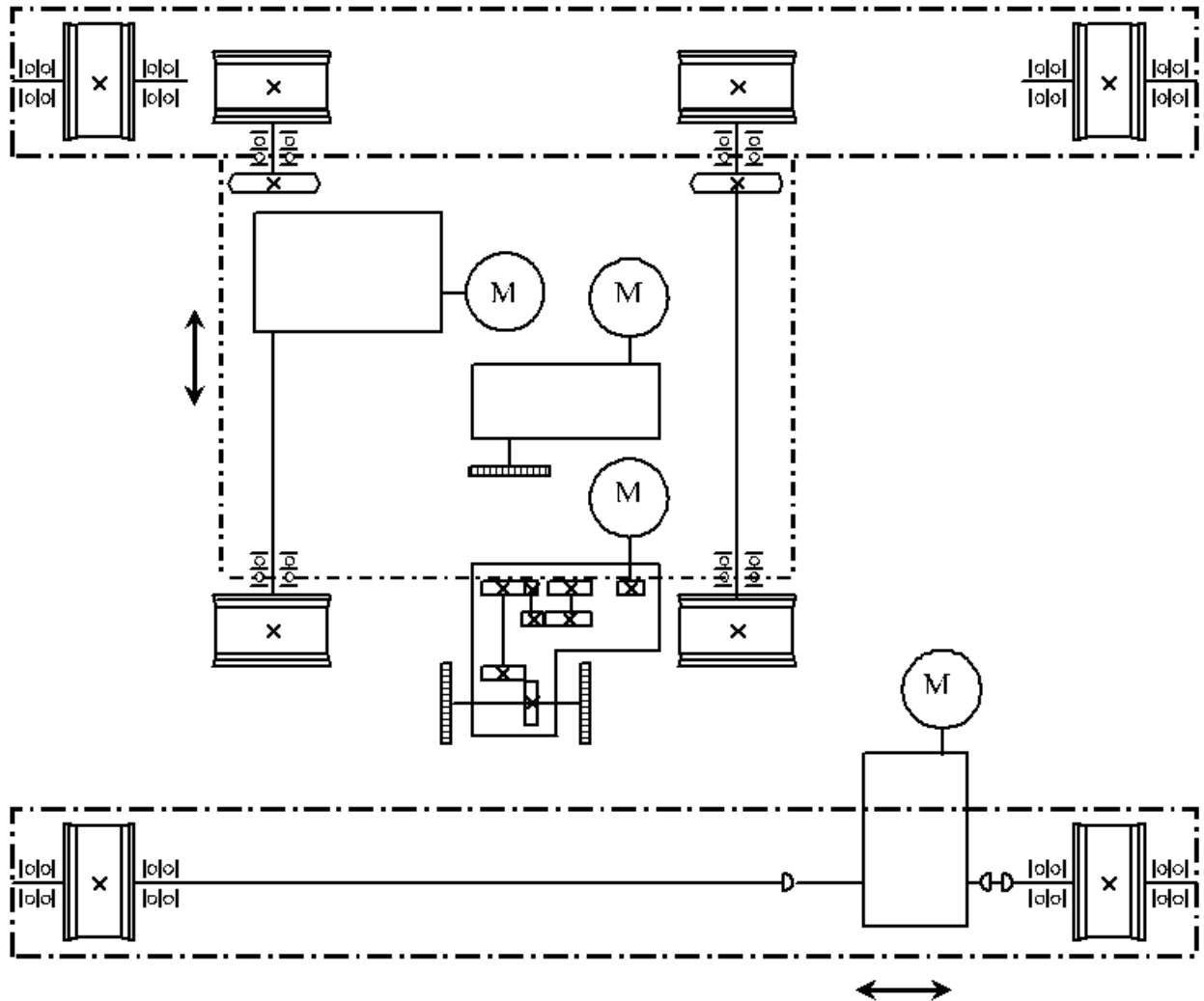


Рис. 3.6 Кінематична схема каменерізної машини СМ-89А. Позначено: 1 – коробка передач механізму переміщення основної рами; 2 – привод горизонтальних пил; 3 – коробка передач верхнього візка; 4 – редуктор привода вертикальних пил.

Вузли 1 та 3 мають однакові кінематичні схеми й конструкції, вузли 2, 4 також аналогічні, але відрізняються потужністю, а вузол 4 ще містить додатково конічну передачу. Дві вертикальні пили мають діаметр 1200 мм, 1 чи 2 горизонтальні пили – діаметр 800 мм.

У комплексі з каменерізною машиною працює машина для прибирання каменю, яка містить систему конвеєрів, де окрім транспортування відбувається розділення буту, щебню й штучних каменів. Штучні камені транспортуються у штабелі поза рейкового шляху машини.

На рис. 3.7 показано низькоуступну машину „ПРИМА“ для видобутку стінового каменю (Low-benching wall stone quarrying machine „PRIMA“) з наступними технічними характеристиками:

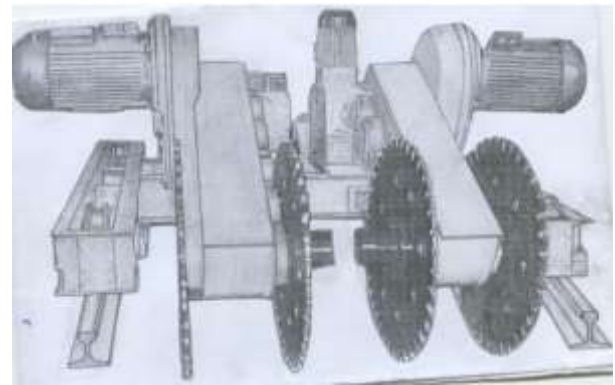
Встановлена потужність, кВт / Installed power, kwt	40
Потужність двигуна, кВт / Engine power, kwt	
вертикальних пил / of vertical blades	18,5
горизонтальних пил / of horizontal blades	15,0
Кількість пил, шт. / Blades quantity, pc.	
вертикальних Ø 1250 мм / vertical Ø 1250 mm	2
горизонтальних Ø 710 мм / horizontal Ø 710 mm	2
Швидкість різання, м/с / Cutting speed, m/ sec	9
Габаритні розміри / Overall dimensions	2600x1800x2300
(l×b×h), мм / (l×b×h), mm	
Маса, кг / Weight, kg	2200



Рис. 3.7 Низькоуступна машина для видобутку стінового каменю „ПРИМА“
(Low-benching wall stone quarrying machine "PRIMA")



а)



б)

Рис. 3.8 Каменерізна дискові машини а) – МК-12; б) – АКМ-3 („Карат машина“)



Рис. 3.9 Каменерізна пила Pilemaster RS15 на базі екскаватора

Каменерізна пила Pilemaster RS15 на базі екскаватора Komatsu PC200-8 (рис. 3.9) дозволяє виконувати різання граніту, мармуру, залізобетону алмазними дисками діаметром до 2600 мм на глибину до 1200 мм, зокрема на кар'єрах. Має значні потужність (від 40 до 200 кВт) та крутний момент, які забезпечуються без використання редукторів та складних механізмів, що спрощує обслуговування

і виключає ударні навантаження на диск. Не потребує довгого встановлення і налагодження на місці різання. Стріла екскаватора дозволяє здійснювати різання на будь-якій доступній висоті.

Машина з дисковими пилами СМ-518

Призначена для вирізування не тільки штучних каменів з вапняку й туфу міцністю до 40 Н/мм², а і великих блоків (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Габаритні розміри виробів

	<i>Довжина l</i>	<i>Ширина b</i>	<i>Висота h</i>
Великі блоки	800	400	400
	800	400	500
	1000	500	1500
Штучні камені	390	190	190
	490	240	190

В цілому машина має деякі зміни у кінематичній схемі і вузли, аналогічні СМ-89А, але збільшеної міцності. Її оснащено 4-ма пилами, які встановлені на 2 головках. Вертикальні пили використовують як при поперечному, так і при поздовжньому різанні.

Порядок роботи:

Поперечні надрізування по ширині забою. Всі чотири пили встановлені вертикально, їхні площини перпендикулярні до поздовжнього напрямку траншеї. Надрізування визначають довжину штучного каменю.

Переміщення на крок, який відповідає 4-ом довжинам каменю.

Підрізування каменю по горизонтальній площині: 2 вертикальні пили на одній з головок переставляють у горизонтальне положення, тим самим визначають ширину каменю.

Відокремлення (відділення) каменю від масиву вертикальними пилами: дві пили на головці, встановлені для поперечних пропилів, переставляють таким чином, щоб їхні площини були скеровані вздовж забою.

Підрізування по горизонталі й відрізка здійснюються одночасно під час руху машини вздовж забою.

Кінематична схема містить 2 ланцюги приводу пил и 2 ланцюги подачі верхнього і нижнього візків. Кінематичні ланцюги подачі ідентичні. Налаштування - змінними зубчастими колесами.

Привод головного руху має безступінчасте регулювання (має фрикційний варіатор чи регульований двигун).

Машина має 2 виконання: для міцності 20 Н/мм² і міцності 40 Н/мм².

Найпродуктивнішою є каменерізна установка **СМ-824**, призначена для вирізання штучного каменю з черепашника міцністю до 1,5 Н/мм² в пластах породи товщиною до 2,5 метра. Складається з 3-х самостійних машин: ПБК-02 + ПБК-03 + ПБК-04.

ПБК-02 – для здійснення вертикальних пропилів. Дев'ять дискових пил на спільному валу, розташованому попереду машини. Вал обертається в опорах каретки, яка переміщується на котках-роliках по напрямних. На каретці – двигун, який передає обертання на вал з пилами через редуктор та ланцюгову передачу.

ПБК-03 — для горизонтальних пропилів вздовж забою горизонтальними пилами, насадженими на спільний вертикальний вал. Залежно од висоти пласта може бути до 13 пил. Машина розташована на відстані 15 м од ПБК-02.

ПБК-04 має 2 різальних диска, які роблять тильний пропил, відокремлюють камінь від масиву. Розташована на відстані 5м од ПБК-03.

Відстані між машинами обрані з умови зручності обслуговування.

При роботі установка рухається вздовж забою й вирізує вертикальні стрічки товщиною 27 см згідно кількості пил.

Різальний інструмент всіх машин – сталеві диски із листової сталі 65Г товщиною 10 мм з вмонтованими різцями, оснащеними твердим сплавом ВК8, які виступають на 3-4 мм по обидва боки диска.

Установка оснащена 11-ю дисками для прибирання каменю й переміщення від забою до елеватору.

3.3.2 Машини з кільцевими фрезами

Призначені для вирізання великих блоків для виготовлення облицювальних плит и деталей для великоблочного будівництва. Для видобутку штучного каменю недоцільна через великі відходи (30-40%), зумовлені значною шириною пропилу (32-35 мм за ширини фрез 30 мм).

Перевага (порівняно із машинами з дисковими пилами) – сталість. Так як кільцеві фрези є одночасно і зубчастим колесом значного діаметру, то редуктор привода може мати менші передатні відношення при тих самих швидкостях різання та діаметрах інструмента. Зменшується енергоємність різання, завдяки тому, що застосовується висока швидкість подачі и збільшується подача на зуб.

Кільцевими фрезами можна різати майже всі горні породи, які застосовують у будівництві.

Недоліки: гарантований час роботи 5000 годин, але не всі фрези витримують і в процесі експлуатації вимагають очищення (промивання): фреза врізається на значну глибину, а видалення кам'яних уламків ускладнений. Ремонт фрези можна виконувати лише на спеціалізованих підприємствах. Промисловість випускає серійно машини з кільцевими фрезами (вже у 1964 р. – 3 типи: СМ-177А, СМ-428, СМ-580, пізніше – СМР-028, СМР-029 та ін. Зараз машини СМ-177А та СМ-428 вже не випускають, але їх ще експлуатують у кар'єрах). Машина СМР-028 відрізняється від СМ-177А модернізацією окремих вузлів та наявністю кабіни.

Каменерізна машина СМР-028

Призначена для вирізання блоків розмірами $l \times h \times b = (1000 \text{ і більше}) \times 1050 \times 1000$ з гірської породи середньої міцності 15-180 Н/мм², а також для вирізування стінових каменів у відкритих кар'єрних розробках.

Машина має Г-подібну ходову раму, яка рухається вздовж забою по рейках (по два на кожній з рейок), одна з яких прокладена на підшві уступу, а друга – на верхній площадці уступу. На рамі перпендикулярно до рейок розташовані напрямні, якими рухається візок з різальними інструментами: вертикальні фрези з приводом та консоль з приводом і горизонтальною фрезою. При переміщенні візка по напрямних нерухомої рами (при поперечному різанні) здійснюються поперечні пропили, при спільному переміщенні візка й рами (візок фіксовано відносно рами) – горизонтальні пропили й відокремлення блоку від масиву (тиловий пропил).

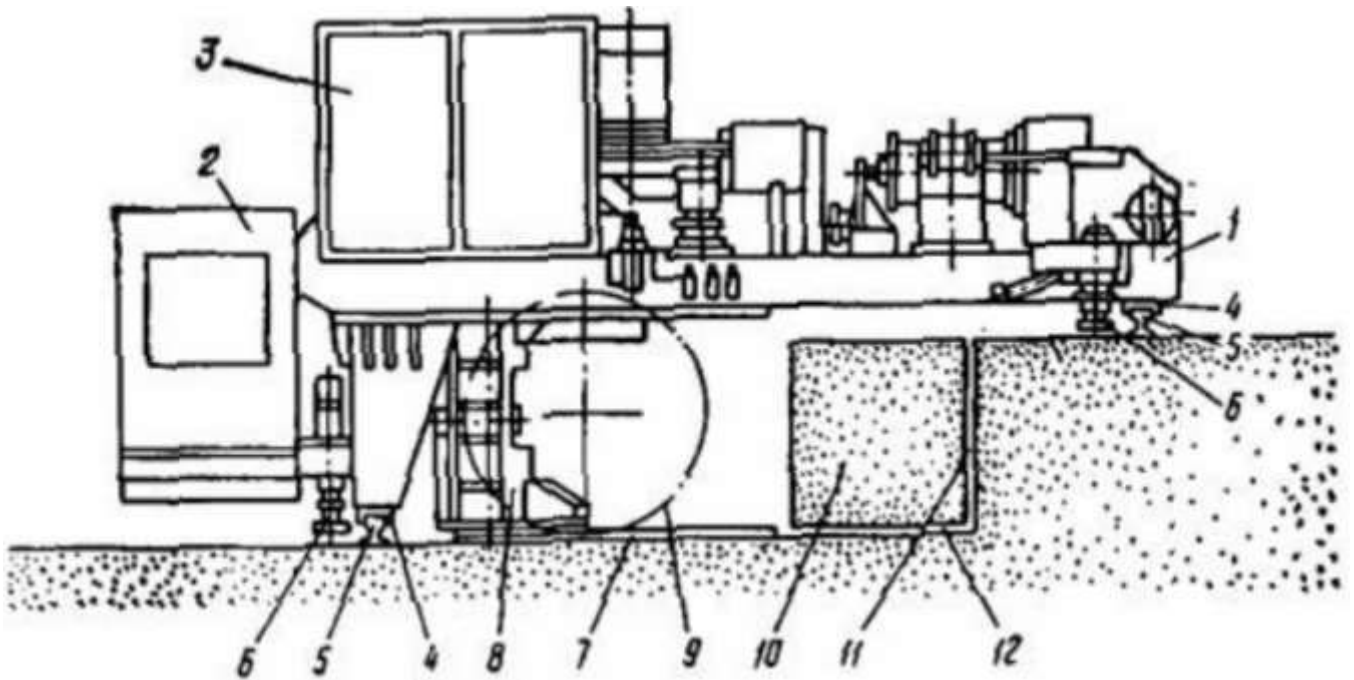


Рис. 3.10 Загальний вигляд каменерізної машини СМР-028.

1 – рама ходова; 2 – кабіна; 3 – електрошафа; 4 – колеса; 5 – рейки; 6 – домкрати;
7 – горизонтальна фреза; 8 – консоль кріплення фрези; 9 – вертикальна фреза;
10 – відпилюваний блок; 11 – вертикальний поздовжній пропил; 12 – горизонтальний поздовжній пропил.

Має 4 кільцеві фрези: дві для поперечного різання та по одній для поздовжнього та горизонтального. Горизонтальною фрезою оброблюють верхню поверхню, потім поздовжньою та горизонтальною фрезами виконують траншею, глибина якої дорівнює висоті блоку, ширина становить 1720 мм. Здійснюють поперечні надрізи, потім поздовжнє різання й відокремлення блоку.

Регульований привод руху по рейках (привод подачі) реалізовано тяговим канатом в якості кінцевої ланки: поздовжня подача – при намотуванні канату на барабан \varnothing 400 мм,

поперечна – на барабан 200 мм. Барабан вмикається кулачковою муфтою. Привод головного руху – обертання фрез – є розгалуженим. Кінематичну схему наведено на рис. 3.11. Зубчасте колесо привода зачіплюється із зубчастим вінцем кільцевої фрези (\varnothing фрези 1380 мм).

Редуктори привода фрези та механізми подачі виконано у двох варіантах: для різання каменю міцністю до 40 Н/мм^2 та до 180 Н/мм^2

Використовувані режими:

$V_{\text{рез}} = 26 \dots 49 \text{ м/хв}$; $n = 6 \text{--} 11,32 \text{ об/хв}$ – для вертикальних фрез.

$V_{\text{рез}} = 24 \dots 45 \text{ м/хв}$; $n = 5,5 \text{--} 10,4 \text{ об/хв}$ – для горизонтальних фрез.

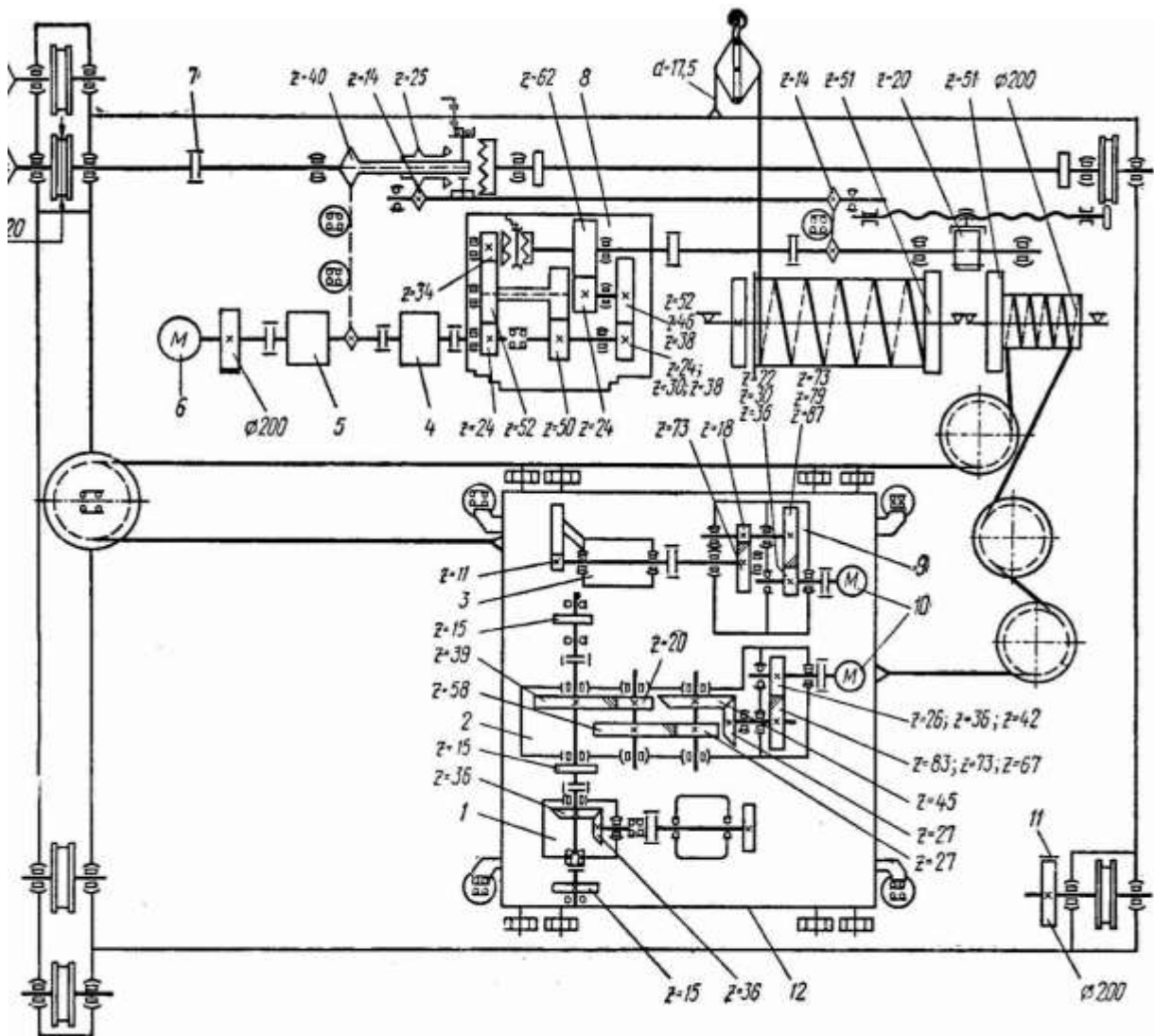


Рис 3.11 Кінематична схема каменерізної машини SMP-028 [23].

Позначено: 1 – кутова передача; 2 – привод вертикальних фрез; 3 – консоль фрези; 4, 5 – редуктор; 6, 10 – електродвигун; 7 – гальмо ТКТ 200/100; 8 – коробка передач; 9 – привод горизонтальних фрез; 11 – гальмо ТГМ-80; 12 – візок.

Технічні характеристики каменерізних машин з кільцевими фрезами [30]

Показники	Марки машин			
	СМ-177А	СМР-028	СМ-428	СМР-029
Максимальна межа міцності розроблюваних порід, МПа	160	180		
Розмір вирізуваних блоків, мм	(довжина довільна) × 1000 × 1000			
Швидкість подачі, м/год поздовжньої поперечної	0,8-8,37 0,86-9,42	0,53-7,56 0,69-9,78	0,66-7,23 —	0,1-6,8 —
Кількість фрез	2		1	
Найбільша потужність, яка споживається одночасно, кВт	19,2	22,5	11,7	27,5
Ширина колії, мм	4080	4150	1200	
Продуктивність за зміну м ³ за міцності на стискання, МПа				
40-60	24	26	14	15
101-120	15	17	9	10
Габаритні розміри, мм				
довжина	3500	4220	3000	3275
ширина	4530	6340	2230	2600
висота	3620	4060	1230	1980
Маса фрези, кг	204			

Розрахункова продуктивність каменерізних машин СМ-177А та СМР-028 складає 4 м³ в зміну по гірській породі. Машини СМР-428 та СМР-029 мають продуктивність нижче, бо обладнані однією кільцевою фрезою, яка може встановлюватися вертикально або горизонтально, при тому у вертикальному положенні здійснюють поздовжні пропили, а поперечні вертикальні пропили практично не виконуються через складність налагоджування. Глибина пропилу по довжині траншеї становить 1,04 м, а для машин СМР-428 та СМР-029 може бути значно більшою, що дозволяє суттєво збільшити розміри вирізуваних блоків і підвищує ефективність комбінованого способу робіт.

Каменерізна машина СМ-580 для порід міцністю 40 Н/мм². Поперечне різання здійснюється одночасно 3-ма кільцевими фрезами. Після кожного надрізу – переміщення на крок (три довжини штучного каменю). У горизонтальній площині

камінь підрізують одночасно у двох шарах. Один візок рухається по рейках, на ньому – другий переміщується вертикально. Також випускають у двох виконаннях: для порід міцністю до 20 Н/мм² і міцністю до 40 Н/мм².

3.3.3 Машини з гнучкими робочими органами

Гнучкий різальний інструмент – *бари та канатні пили*.

1. Інструмент – бар.

Переваги використання барових машин при розробці порід середньої міцності порівняно з каменерізними машинами з кільцевими фрезами:

- можливість випилювання великих блоків об'ємом 6-8 м³;
- велика висота розроблюваних уступів та менша довжина фронту робіт на уступі;
- можливість розробки масивів з кутом нахилу до 20 °;
- втрати мрамору у пропилах складають 6-7 % (у СМ-177А – 10-12 %), тобто збільшується вихід блоків з масиву;
- скорочується обсяг гірничо-підготовчих робіт.

Взагалі технологічно барові машини мають переваги відносно каменерізних машин з кільцевими фрезами, бо можуть виконувати як вертикальні, так і горизонтальні вертикальні пропили без попереднього виконання вхідної та вихідної траншей для того, щоб барова пила ввійшла і вийшла.

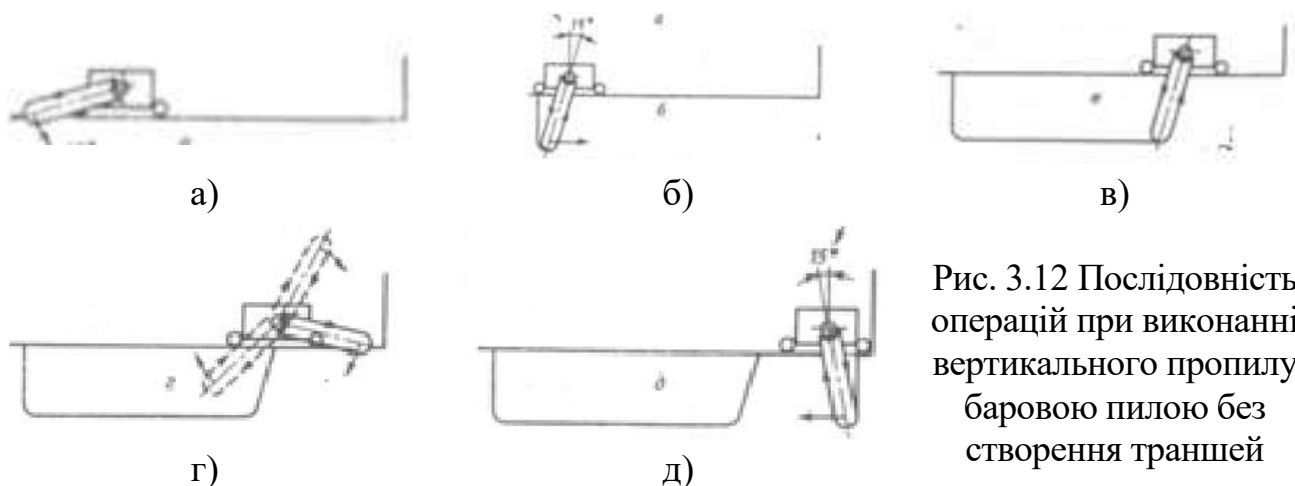


Рис. 3.12 Послідовність операцій при виконанні вертикального пропилю баровою пилою без створення траншей

Позначено: а) – врізування бару; б) – робоча подача машини при виконанні пропилю; в) – кінець ходу машини; г) – розворот бару за годинниковою стрілкою (змінюється напрям руху ріжучого ланцюга); д) – робоча подача машини у зворотному напрямі і звершення виконання вертикального пропилю [23].



Рис. 3.13 Барова машина

Барові машини використовують для порід з вмістом кварцу менш за 5 %: розколини різко знижують продуктивність через небезпеку заклинювання бару, однією з причин якого може бути відсутність подачі води для охолодження і не видалення відходів розпилювання з пропилу, до того ж за розпилювання високоміцних порід збільшується зношення різців. В цьому випадку застосовують буроклиновий або буровибуховий спосіб до того, як використати барові машини.

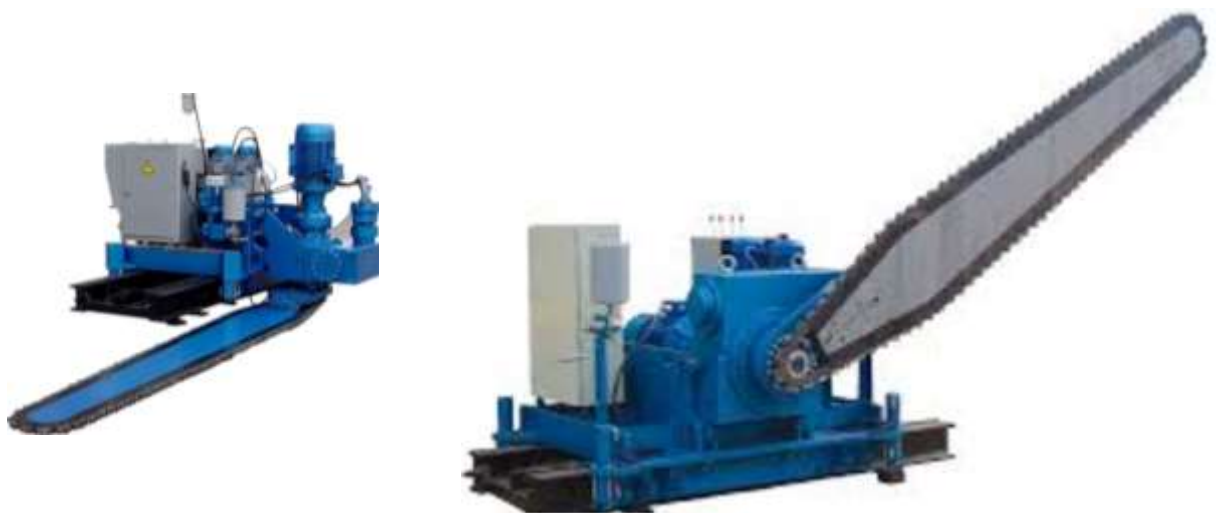


Рис. 3.14 Барова машина (постачальник – <http://tc-victoriya.com.ua/stanki/>)

Під барову машину на нижній або верхній площадці уступу готують площадку шириною щонайменше 5 м та довжиною 30-50 м. Зазвичай машину доставляють краном з однією ланкою рейкового шляху. Інші рейкові ланки за допомогою крану почергово встановлюють одна поперед одної по ходу руху машини й кріплять до основи.

Технологія видобутку блоків баровою машиною та порядок виконання пропилів в цілому лишаються тими самими, що й для каменерізних машин з кільцевими фрезами [23]:

Спочатку по всій довжині ділянки робіт виконують поперечні вертикальні пропили з висотою 1,35-2,25 (за умови використання довжини бару 90 %) , відстань між якими відповідає довжині блоків. Потім на всю довжину здійснюють горизонтальний пропил і встановлюють у проріз прокладки для розклинювання. Відокремлюють блок від масиву здійсненням вертикального поздовжнього затилувального пропилю. Відстань між затилувальними пропилами дорівнює можливій глибині горизонтального різку 1,28-2,12 м за умови використання 85 % довжини бару. Відповідає ширині блоку. Тобто технологія видобутку блоків баровою машиною полягає у відокремленні монолітів від масиву за трьома взаємно перпендикулярними площинами.

Послідовність може бути також і іншою: виконують вертикальні пропили, в першу чергу поперечні, потім – поздовжні, наостанок горизонтальні для відокремлення від масиву із закладенням прокладок для розклинювання.

Барові машини випускають італійські та німецькі фірми Fantini, Pellegrini, Officina meccanica Carrone, Korfmann.

Приклади обладнання.

Машина каменерізна барова СМР-076

Призначена для добування відкритим способом блоків та монолітів туфу, мармуру, вапняку та ін. із межею міцності на стискання до 160 МПа. Машина містить ходову раму, привод подачі, бар, рейковий шлях, пристрої змащування.

Привод бара – гідравлічний. Бар закріплено шарнірно для можливості переведення бара у вертикальне положення (поворот на 90° за 2,7 хв.) з метою швидкого виведення із пропилю. На корпусі передбачено термодатчик.

Котки ходової рами (візка) насаджені на ексцентрикові вали, щоб мати можливість виставити при складанні в одній площині і забезпечити прямолінійний рух.

Нахил бару при вертикальному різі 75°, при горизонтальному – 70°.

Рейковий шлях – зварена конструкція із трьох однакових секцій. Передбачена фіксація рейок відносно уступу. При роботі секції почергово переставляють одна поперед одної.

Габарити машини: $L \times b \times H = 1900 \times 2100 \times 1800$ мм, маса (з масою рейкового шляху) – 5000 кг.

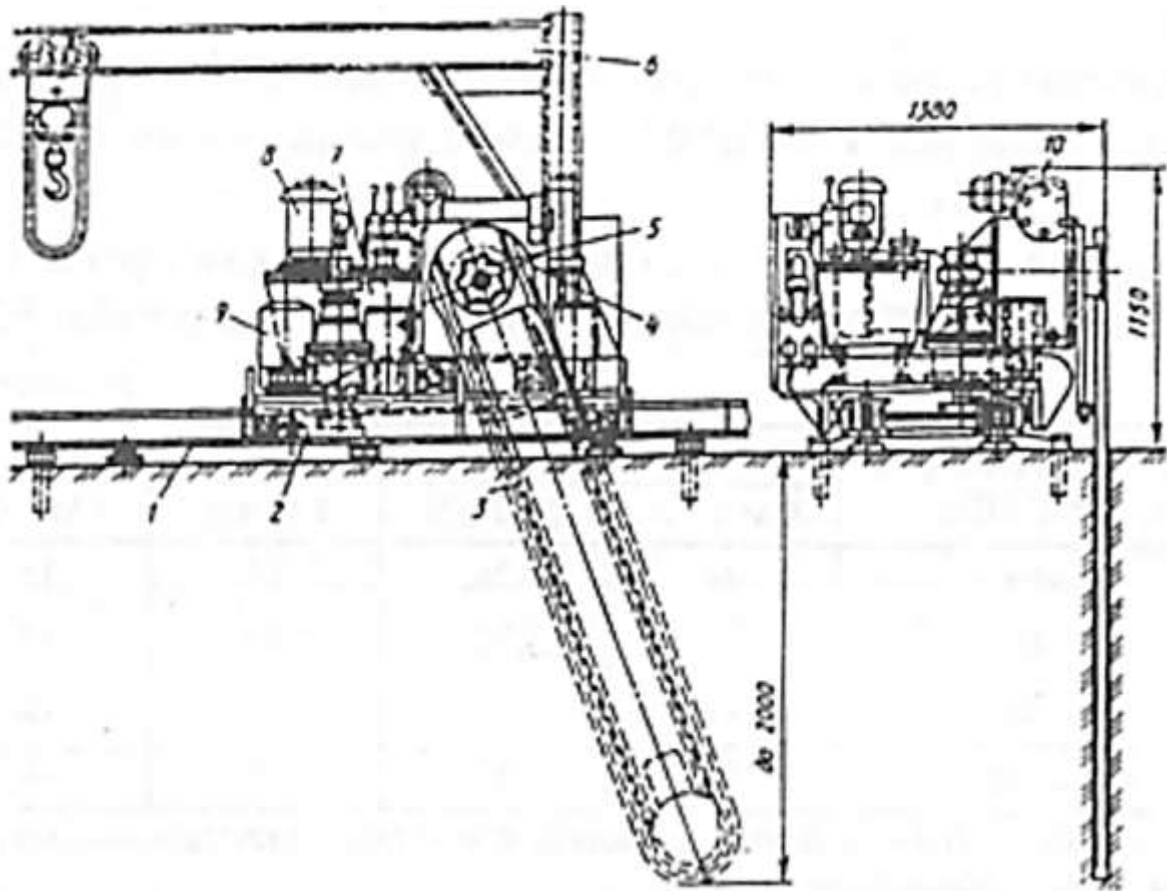


Рис. 3.15 Загальний вигляд машини каменерізної барової СМР-076 [23].

Позначено: 1 – нижня напрямна; 2 – ходова платформа; 3 – барова пила;
4 – електродвигун приводу барової пили; 5 – приводна зірочка;
6 – консольний кран; 7 – бак для мастила; 8 – електродвигун подачі;
9 – гідродвигун; 10 – механізм повороту барової пили.

Таблиця 3.4

Технічні характеристики барової машини СМР-076 [30]

Параметри	Показники
Розміри блоків, що їх видобувають, мм	
довжина	Довільна
ширина	1500
висота	2000
Глибина пропилу, мм	
за вертикального різку	2040
за горизонтального різку	1500
Ширина пропилу, мм	
за вертикального різку	42
за горизонтального різку	45

Параметри	Показники
Швидкість різання, м/с	0,33-1,33
Діапазон швидкостей подачі, м/год.	1-17
Кут повороту бара, град за вертикального різу за горизонтального різу	360 180
Час повороту бару на 90 ° під час врізання, хв	10-90
Довжина ланки рейкового шляху, мм	3000
Кількість ланок	3
Встановлена потужність, кВт	25,5
Розрахункова продуктивність, м ² /год за міцності 70 МПа за міцності 160 МПа	4,6 1,5

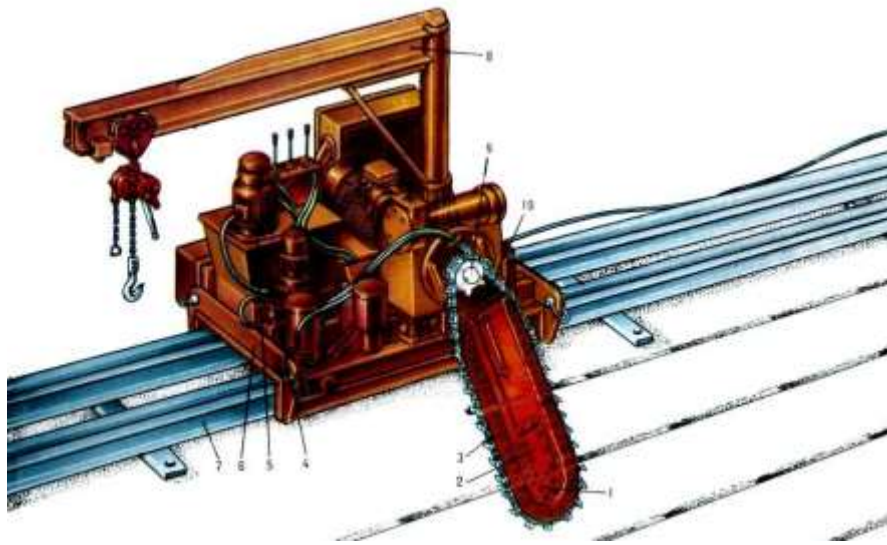


Рис. 3.16 Барова каменерізна машина [37].

Позначено: 1 – ведений шків; 2 – бар; 3 – ланцюг; 4 – механізм подачі;
5 – привод механізму подачі; 6 – рама-основа; 7 – напрямні; 8 – консольний кран;
9 – ведуча зірочка; 10 – консоль бару.

При використанні барових машин застосовують стовпову систему розробки: спочатку уступ нарізують поперечними пропилами на довгі стовпи, потім поздовжніми пропилами (горизонтальне підрізування й вертикальне відрізування) відокремлюють блок від забою по всій ширині ділянки.

Машина каменерізна однобарова КМАЗ-188А

Для випилювання стінових каменів вапняку підземним способом у забоях з перерізом 3,14 × 2,54 м або відкритим способом. Розміри каменів, які вирізують: 188×240×490 мм; 188×190×390 мм.

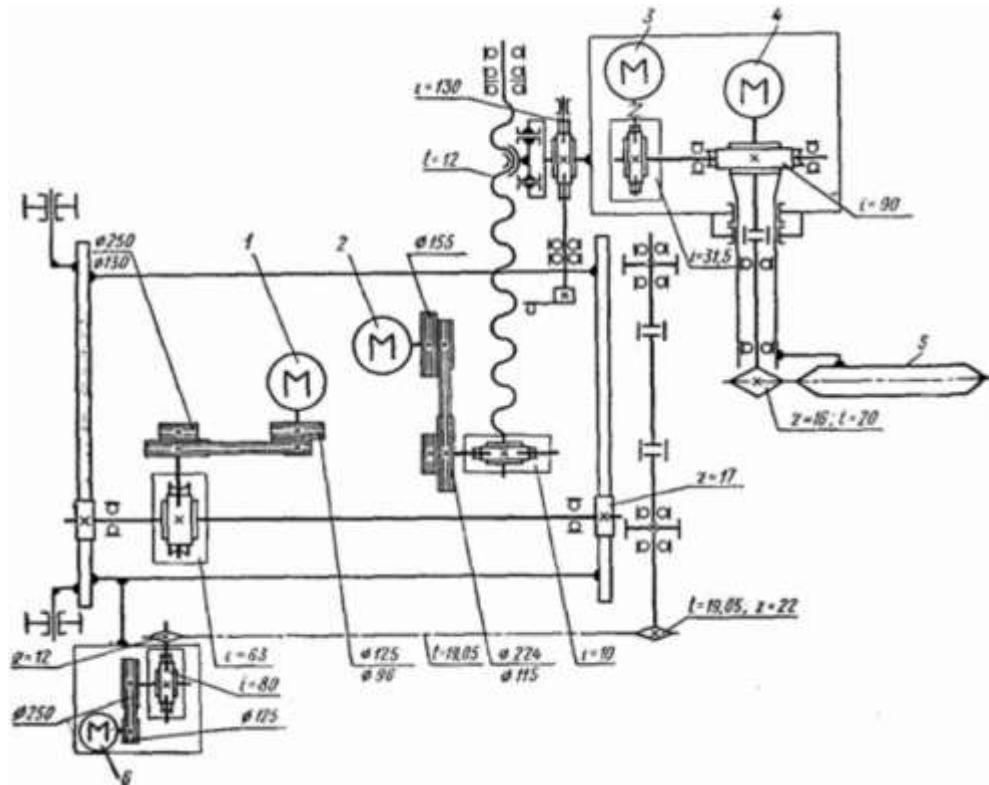


Рис. 3.17 Кінематична схема машини каменерізної однобарової КМА3-188А.

Позначено: 1, 2, 3, 4, 6 – електродвигуни; 5 – бар [23].

Машина має горизонтальну раму, на якій встановлено усі механізми та відносно якої рухається вертикальна рама. Горизонтальна рама має попереду ведучі колеса, позаду – ведені. Рухається вздовж забою. Задні колеса можна змістити, закріпити гвинтами на вилках. При цьому забезпечується нахил машини і можна вести нахилені виробки.

По напрямних вертикальної рами рухається каретка з різальною головою.

Швидкість різання дорівнює 9,7 м/с.

$S_{\text{верт.}} = 1-3,024$ м/хв.; $S_{\text{гориз.}} = 1,2-3,02$ м/хв.; $S_{\text{колова}} = 2,9$ м/хв. (на кінці бару).

Машина ПКБ-40, яка має пильний орган у вигляді головки із барами, входить до великоблочного устаткування СМ-950. Цей комплекс містить 6 машин: 4 каменерізних та 2 транспортно-відвальні.

Каменерізні установки містять машини двох типів – ПКБ-40 із барами та машина з дисковими пилами, які фрезерують лицьову поверхню. Бари машини ПКБ40 виконують вертикальні та горизонтальні пропили, в які вставляють клини (виконується робітниками). Транспортування виконує спеціальна машина, що має тельфер.

Зараз у кар'єрах застосовують переважно барові машини виробництва Болгарії (фірма „Мінералмаш“, КМХ-2), Німеччини (фірма „Корфман“, ST-30VH) та Франції (фірма „Ф. Перье“, HR-70VR).

2. Інструмент – канатна пила.

Канатна пила – це сталевий трос \varnothing 3,5-6 мм, який звито у нескінчену петлю з трьох жил \varnothing 1,2-1,8 мм.

На (рис. 3.17) показано використання машини каменерізної алмазно-канатної.



Рис. 3.18 Машина каменерізна алмазно-канатна при добуванні граніту відкритим способом [TYROLIT VINCENT].

Машина каменерізна канатна містить приводну станцію, робочі стойки із шківками та тяговими механізмами та напрямними шківками, натяжну станцію, живильник абразивної пульпи. Приводна станція забезпечує швидкість канату 6-12 м/с. Робочі стойки призначені для орієнтації канатної пили й переміщення, напрямні шківки на напрямних стойках підтримують канат, який має довжину 0,8-1 км, а іноді досягає 2-3 км. Відстань між напрямними стойками становить 50-60 м. Шарнірне з'єднання з механізмом фіксації дозволяє просторово орієнтувати шківки й забезпечувати потрібне положення канату.

Натяжний пристрій являє собою рухомий візок з набором тягарців, який рухається по рейках з кутом нахилу 30°. В процесі пиляння канат опускається у пропили, а візок піднімається вгору, послаблення канату в процесі підйому з пропили вгору компенсується опусканням візка. Як абразив застосовують, наприклад, кварцевий пісок, що містить не менш за 95 % кварцу, з водою.



Рис.3.19 Устаткування для видобутку каменю з використанням канатної пили.

На рис. 3.20 позначено:
 1 – рейковий шлях; 2 – корпус; 3 – колеса; 4 – захисна планка (захист від канату, який обірвався); 5 – поворотний вузол з робочим (приводним) шківом; 6 – допоміжні напрямні шківів; 7 – алмазний канат.

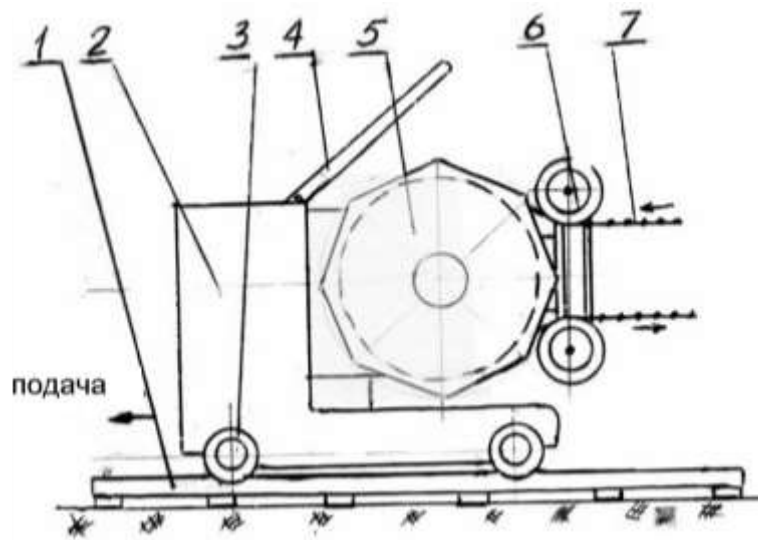


Рис. 3.20 Принципова схема алмазно-канатного устаткування для видобутку каменю

Застосування алмазно-канатних пил передбачає буріння шпурів вздовж меж масиву, який планується до видобутку, введення у них алмазного

канату й утворення канатного кільця (замкненого контуру). Попередньо виконані при розробці уступу траншеї використовують для встановлення робочих стоек для скеровування й натягування канату. Канатом вирізують моноліти, які перекидають на підшву уступу й розділяють на стандартні блоки.

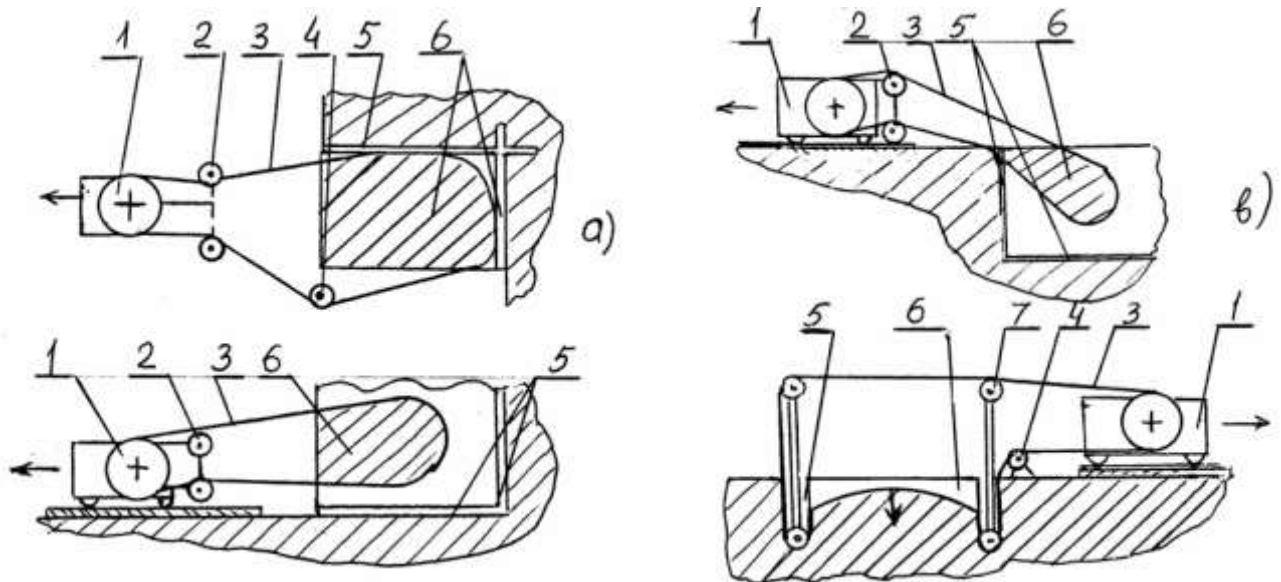


Рис. 3.21 Способи візання алмазного канату у масив при відокремленні від нього каменю: а – горизонтальне різання; в – вертикальне візання у горизонтальну поверхню. Позначено: 1 – канатне устаткування (електричне або дизельне); 2 – напрямні шківів; 3 – алмазний канат; 4 – стаціонарні напрямні шківів; 5 – отвори для розташування канату, які пробурили заздалегідь; 6 – пропили, що його здійснює канат; 7 – спеціальний набір шківів для здійснення вертикального пропили, візання у горизонтальну поверхню [14].

На даний час алмазно-канатне різання є найбільш ефективним і недорогим методом видобутку каменю. Недоліком методу є необхідність завчасного буріння отворів для того, щоб протягнути канат, проблеми різання за наявності у породі тріщин, м'яких включень, неоднорідностей, необхідність охолодження зони різання водою (сухе різання впроваджено на мрамурі)

За останні десятиріччя лінійна швидкість з 10-20 м/с зросла до 40м/с та більше, а продуктивність по мрамурі з 2-3 м²/год до 5-18 м²/год

Таблиця 3.5

Основні характеристики алмазно-канатних устаткувань,
які використовуються у кар'єрах [14].

№№	Характеристика	Карьер мрамора (оникса, травертина, серпентина, мягкого песчаника, известняка и др.)	Карьер гранита (порфира, кварцита и др. твердых пород).
1	Тип каната и алмазной шайбы	Традиционный канат (канат + пружина + дистанционное кольцо +фиксатор), покрытый пластиком или резиной при отсутствии пружины, алмазные шайбы з прессованными или осажденными электролизом алмазами	Только канат покрытый пластиком или резиной без защитных пружин з прессованными или осажденными алмазами преимущественно з прессованными алмазами
2	Конфигурация	Канат имеет 28-34 алмазных шайб на 1м длины	Канат имеет 32-40 алмазных шайб на 1 м длины
3	Применение	Вскрышные, добычные и другие работы, пассировка (приведение к форме параллелепипеда) блоков. Сухое и мокрое резание	Вскрышные, добычные и др. работы (горизонтальные резы реже)не всегда экономичны при пассировке. Мокрое резание, в последнее время даже сухое резание
4	Размеры реза одним канатом	От нескольких метров до 600-1000 м ² . Реже более 1000 м ²	20-250 м ² , реже 400-600 м ² , иногда больше
5	Производительность	3-12 м ² /час иногда до 18 м ² /час	1-5 м ² / час иногда 7-8 м ² /час
6	Величина реза 1 пог.м. каната	15-40 м ² /м иногда 120-160 м ² /м	2,5-7, иногда 10-20 м ² /м
7	Линейная скорость (скорость резания) каната	30-36 м/сек иногда более 40 м/сек	16-28 м/сек

При використанні канатних пил рекомендуються наступні розміри монолітів, що їх відокремлюють від масиву:

$$l \times b \times h = 14-16 \text{ (до 20) м} \times 1,4-1,6 \text{ (до 3) м} \times 4-6 \text{ (до 14) м.}$$

Продуктивність канатних пил по мармуру становить 1-1,4 м²/год, витрати кварцевого піску – 25-35 кг/год, води – 75-105 л/год, витрати канату – 6-8 м на 1 м² пропилю.

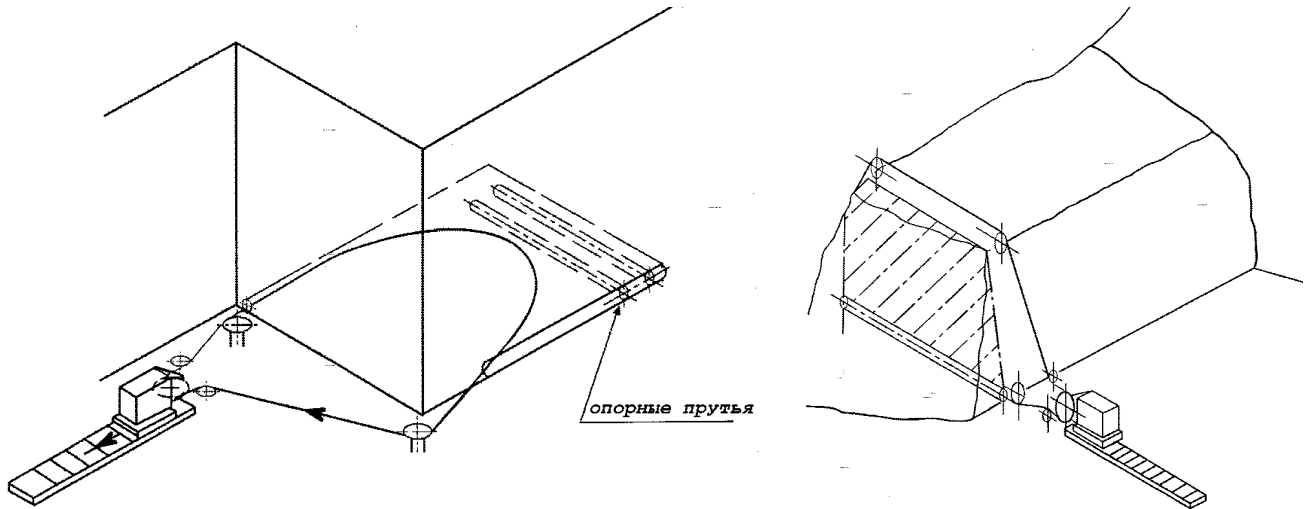
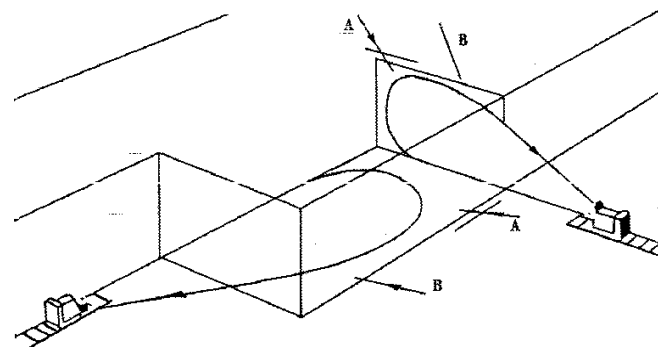


Рис. 3.22 Горизонтальне різання

Рис. 3.23 Вертикальне поперечне різання з використанням напрямних роликів

Після виконання канатною пилою вертикального пропилю моноліт відділяють від підшви уступу вибуховим способом (утворюють щілину між основою моноліту та підшвою уступу) [30]. Наступним кроком моноліт перекидають (бульдозером, гідродомкратом, тощо) на попередньо підготовану подушку з мармурової крихти (висота біля основи до 5 см, рівномірно збільшується до 70-100 см). Подушка повинна зберегти моноліт цілим при ударі. Перекинутий моноліт розділяють на блоки необхідних розмірів, зокрема й канатними пилами.



Відділення блоку від масиву [14].

Переваги канатних пил:

- простота конструкції;
- незначна енерго- і металоємність;
- невисокі витрати сировини на пропилю;
- можливість отримати блоки великого розміру.

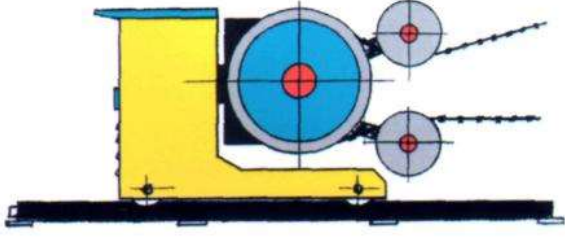
Недоліки канатних пил:

- складність експлуатації при від’ємних температурах;
- різке зниження показників роботи за наявності твердих включень та розколин;
- значний об’єм підготовчих робіт.

Використовують також і алмазно-канатні пили.

Машина алмазно-канатна каменерізна МАКК-750

Призначена для видобутку блоків природного каменю у відкритих кар’єрах

 <p>Рис. 3.24 Канатна каменерізна машина МАКК-750</p>	Основні технічні характеристики	
	Встановлена потужність, кВт	37
	Швидкість різання, м/с	22–32
	Діаметр приводного шківів, мм	750
	Поворот каретки, град	360
	Поперечне переміщення каретки, мм	420
	Відстань між двома паралельними різаними без перевстановлення, мм	
	Min	800
	Max	1500

Габарити $l \times b \times h = 3000 \times 1450 \times 1300$ мм, вага не більш за 2200 кг.



Рис. 3.25 Канатні машини QGM11G ... QGM22G

Канатні верстати QGM (серія Lite) мають систему електричного регулювання натягування та рівномірного перемикавання режимів під час різання, що збільшує строк експлуатації канату. Постійно відбувається регулювання швидкості руху канату з метою мінімізації зношення самого канату та забезпечення максимальної продуктивності. Робоча головка має можливість зміщуватись вправо-вліво для забезпечення довгого різу без переміщення самої машини. Залежно від моделі діаметр



Рис. 3.26 Канатні машини QGM30G ... QGM75G

маховика 550-650 мм, а довжина канату 10-40 м. Швидкість канату до 40 м/с.

Швидкість руху машини 30-40 м/год. Діапазон робочих температур (-15)-(+40) град. С. Є також потужніші моделі, які мають діаметр маховика 800 або 1000 мм, довжину канату 20-150 м, розмір рейок, по яким пересувається машина і натягує канат, 2 м ×3. Такі машини можуть навіть замінити вибухову техніку.



Рис. 3.27 Канатний верстат ВФС для кар'єрів (Італія)

На рис. показано ще один канатний верстат для кар'єрів, який має довжину канатів 5-40 м чи 20-80 м при лінійній швидкості до 40 м/с. (<http://ttc-victoriya.com.ua/stanki/polirovochnye-stanki.html>, м. Коростишів, Україна)

Машина каменерізна алмазно-канатна СМР-083.

Призначена для вирізування та пасерування (підгонки розмірів) мармурових блоків при добуванні відкритим способом порід із $\sigma_{стиск}$. до 120 МПа. Використовують також для вибіркового добування блоків на обмежених ділянках та пасерування і обробки великих монолітів мармуру, травертину, вапняку.

Довідка: Пасерування – це груба обробка блоків з гірських порід з метою забезпечення заданої форми й розмірів. Передбачається сколювання окремих шматків блока та обколювання граней. Об'єм пасерування визначається якістю робіт при відокремленні монолітів від масиву та їх розколювання.

Інструмент – алмазний канат $\varnothing 10-12$ мм, $L=20 \dots 25$ м, діаметр приводного шківа 1000 мм. Напрямні ролики $\varnothing 600-630$ мм. $n_{шківа} = 0,8-7,5 \text{ с}^{-1}$. (48-450 об/хв.), $V_{різ} = 17-26 \text{ м/с}$, $P_{осьова} = 1500 \dots 2500 \text{ Н}$. Потужність $P=41 \text{ кВт}$ (на 1 м^2 мармуру при $\sigma=75 \text{ МПа}$, $P = 4,62 \text{ кВт}$.)

Рейкові секції $L = 5000$ мм.

Привод подачі – візком, з можливістю фіксації у будь-якій точці.

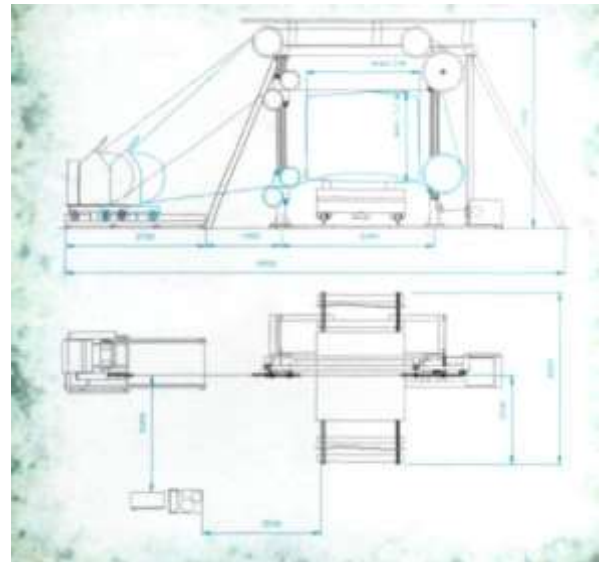


Рис. 3.28 Установка пасерувальна (Diamond wire blocktailor).

Характеристики: встановлена потужність – 20 кВт; лінійна швидкість алмазно-канатної пили – 21; 40 м/с; довжина контура алмазно-канатної пили – 77,5 м; діаметр шківів приводного – 1000 мм.

Міні-канатний верстат вертикального різання DWSM-11A-6P призначений для пасерування блоків каменю у кар'єрах, каменеобробних цехах та гранітних майстернях. Практично немає відходів від роботи верстату або вони мінімальні. Діаметр робочого колеса 550 мм, довжина канату 10-20 м, швидкість різання до 40 м/с, продуктивність різання 1-8 м²/год.



Рис. 3.29 Міні-канатний верстат DWSM-11A-6P

4 КАМЕНЕОБРОБНІ ВЕРСТАТИ

Каменеобробні верстати класифікують за різними ознаками.

За призначенням:

- операційні;
- універсальні;
- спеціальні.
- комплексні (поточні лінії)

За видом технологічних операцій:

- розпилювальні;
- відрізні;
- фрезерувальні;
- шліфувальні;
- полірувальні.

За іншими операціями, що не є обробкою різанням: сколювання, обробка ультразвуком, термічним способом та ін.

За різальними органами:

- штрипсові;
- дискові;
- стрічкові;
- канатні;
- шліфувально-полірувальні.

За іншими органами (бучарди, термічні горілки).

За різальним матеріалом:

- абразивні;
- алмазні;
- твердосплавні та ін.

Як правило, верстати для обробки каменю малої міцності оснащені інструментами, армованими твердим сплавом. Каміні, які мають міцність вище, обробляють абразивними і алмазними інструментами.

За кількістю інструментів, які застосовують:

- одноінструментні (наприклад, одноштрипсові);
- багатоінструментні (багатодискові).

4.1 Каменефрезерувальні верстати

Застосовують для обробки грубоколотих каменів в кар'єрах або на будівництвах (обробка бортового каменю, сходових сходинок, блоків для кладки цоколів будівель з базальту і туфу), встановлюють в кар'єрі у місці видобутку (під навісом на спеціально викладену кам'яною плиткою площадку), на будмайданчику або на каменеобробному підприємстві. За компоновкою – фрезерний верстат. Зазвичай мають шпindelну бабку з фрезерною голівкою, стіл, що має поздовжню подачу і на якому встановлено камінь.

Приклад – верстат туфорізний СМР-018А.

Призначений для обробки грубоколотих каменів з туфу і ін. порід з міцністю до 60 МПа (60 Н/мм²). Встановлюють на майданчику під навісом у кар'єрі або в цеху. Компоновка горизонтально-фрезерного верстата. Стіл поздовжньо-рухомий. Шпindel виконано як піноль: може висуватися на задану величину з фіксацією пінолі ручкою (аналогія із задньою бабкою токарного верстата).

Фрезерна голівка має 12 різців, закріплених клиновими сухарями на болтах. Виставляють їх з допомогою набору прокладок по 2-ох діаметрах: 6 різців – по Ø 440 мм та 6 – по Ø 420 мм, в торцевому напрямі – теж по 2-х розмірах по 6 різців. Різці являють собою державки з твердосплавними пластинками, що їх напаяли. Таким чином, інструмент – це складена торцево-ступінчаста фреза. Голівка кріпиться в корпусі, легко замінюється при затупленні. Притискний пристрій: трубчаста стійка з поворотною траверсою, на якій встановлений гідроциліндр притиску, а на штоку гідроциліндру – упорна тяга для притиску. Продуктивність – 1...17 м²/год.

Розміри каменів: 600×430×400 мм. Режими обробки: швидкість різання $V_{різ}=1,7$ м/с або 5,9 м/с; подача $S = 1,7...10$ мм/с; швидкість холостого ходу (швидке підведення) $V_{ш} = 80$ мм/с. Хід столу 880 мм, висота від столу до осі шпинделя 205 мм. Потужність 5,2 кВт. Габарити верстата: 2170×1300×1500 мм. Дуже схожий конструктивно верстат СМР-019 (для каменів міцністю до 160 МПа). Інструмент теж ступінчаста фреза, але 12 різців встановлені групами по 3. Подача – візком, на якому встановлений стіл із закріпленим каменем 1300×300×400 мм. Швидкість різання $V_{різ}=0,8$ або 1,8 м/с.

4.2 Розпилювальні верстати

Верстати для розпилювання каменю призначені для розпилювання блоків та брусів-заготовок облицювального каменю на плити та інші плоскі деталі. Є однією з основних ланок технологічного процесу виробництва облицювальних плит. Може виконуватися розпилювальними верстатами різного типу. Деякі верстати призначені для випилювання з монолітів блоків чи брусів-заготовок, обпилювання граней блоків (пасирування).

За виконавчим органом (інструментом) бувають:

- штрипсові;
- дискові;
- канатні;
- стрічкові.

Дуже широко застосовують штрипсові, з ними конкурують алмазні багатодискові. Канатні й стрічкові застосовуються не дуже широко: проблема в працездатних різальних органах. Хоча слід зазначити, що останнім часом завдяки появі мультиканатних (багатострунних) верстатів вони складають конкуренцію розпилювальним верстатам інших типів.

Вибір способу обробки натурального каменю і, відповідно, типу обладнання, цілком залежить від його породи, тобто міцності, твердості та інших характеристик. Варто пам'ятати, що коли обирають шліфувально-полірувальне обладнання, то враховують його сумісність із розпилювальними верстатами. Якість поверхні, отриманої при розпилюванні, визначить в майбутньому продуктивність та вартість фактурної обробки.

Первинна обробка гранітного блоку визначається його формою й розмірами: гранітний блок може мати як правильну геометричну форму, так і досить довільну. Тож першою операцією є обпилювання блоку щоб надати йому форму паралелепіпеду (пасирування, найчастіше на стаціонарному канатному устаткуванні), а в окремих випадках розпилювання його на кілька частин, зокрема з метою забезпечити красивий малюнок поверхні виробу. Можливим є обпилювання блоку лише з одного боку. Відпиляна „кришка“ не є відходами й перероблюється в подальшому. Далі блок розпилюють на сляби, які є заготовками для подальшого виробництва. Залежно від розмірів заготовку можуть вирізувати одразу (для великоформатних виробів типу підвіконь, східців тощо) або вирізують смуги, які в подальшому розпилюють на плити необхідного розміру.

Верба І.І.
Обладнання для обробки природного каменю

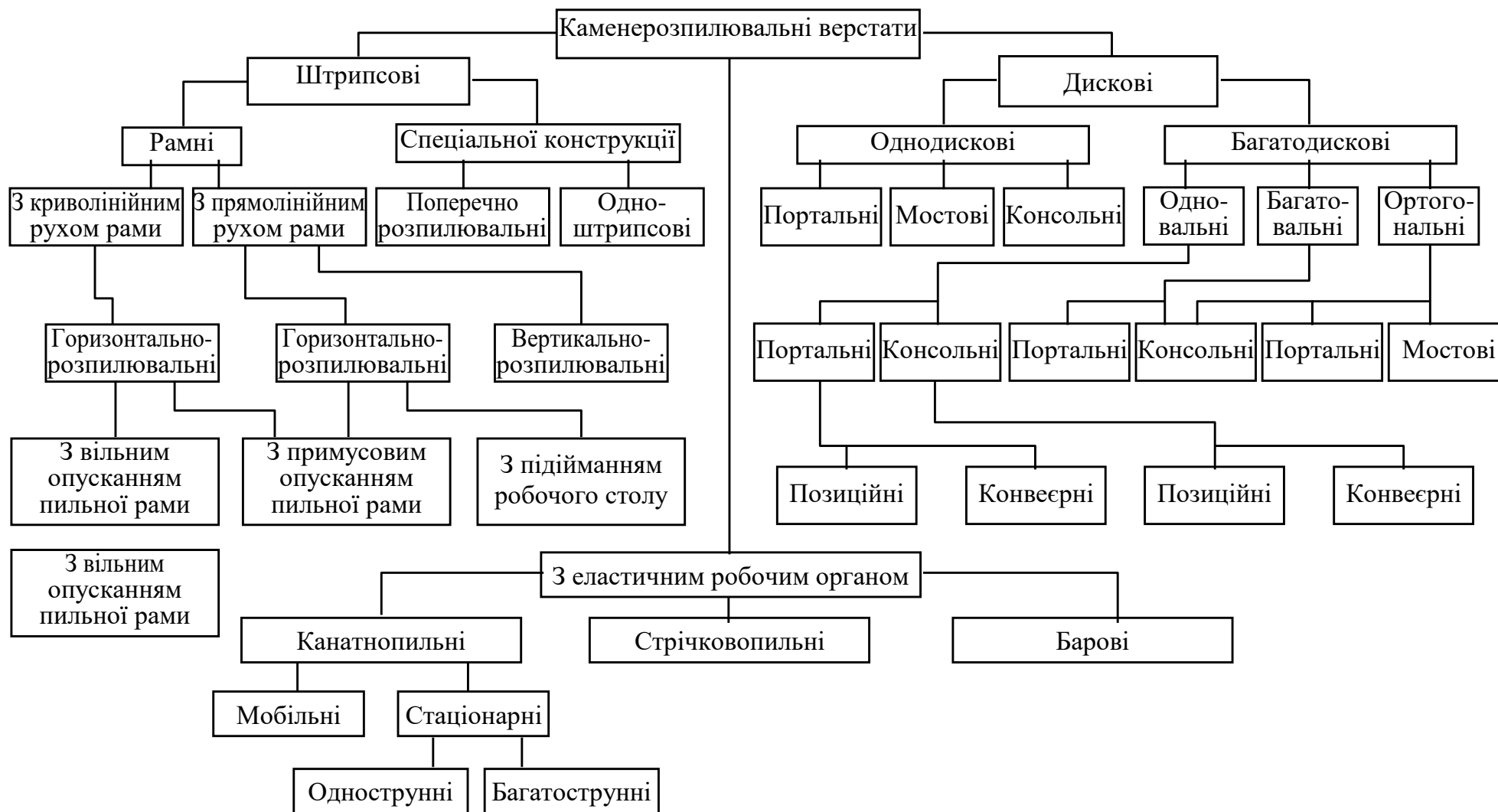


Рис. 4.1. Класифікація верстатів для розпилювання каменю [30]

Наприклад, компанія „Русский гранит“ у переліку технологічних операцій по обробці гранітних поверхонь приводить наступні: шліфування, зняття дрібних дефектів (рос. „зашкуривание“), шпаклювання для маскуванню каверн та виямків, фрезерування (обробка крайок та профілювання), піскоструменева обробка для очищення від бруду та інших нашарувань, полірування та ін. [<http://russiangranit.ru/proizvodstvo/obrabotka-granita/>].

4.2.1 Штрипсові верстати

Мають робочий інструмент у вигляді штрипсових (штабових) пил, які при розпилюванні здійснюють зворотно-поступальний рух. Продукцією, що випускається штрипсовими верстатами, є тонкі плити значної ширини, зокрема й з міцних порід каменю.

Переваги використання цих верстатів: висока жорсткість та сталість пил, можливість розпилювання блоків значних габаритів на великі розмірні плити-заготовки (до 2,5-3,5 м по довжині й ширині), зокрема й малої товщини (до 40 мм), відносно невелика енергоємність процесу різання, незначні втрати каменю при розпилюванні. Штрипсове розпилювання у 2 рази дешевше дискового ортогонального та у 3 рази – канатного. Доля штрипсових верстатів доходить до 70 % всього парку верстатів для розпилювання [28].

За конструктивним виконанням поділяються на рамні й спеціальні. Більш розповсюдженими є розпилювальні верстати рамного типу.

Рамні верстати мають прямокутну зварену або відлиту раму (постав) із закріпленим всередині неї комплектом штрипсових пил, які призначено для розпилювання блоків на плити. Можливим є встановлення значної кількості пил, тобто забезпечується досить велика продуктивність розпилювання навіть попри невисокі режими обробки та отримують при цьому плити невеликої товщини.

Горизонтально-розпилювальні верстати здійснюють розпилювання рамою, яка розташована горизонтально й рухається зворотно-поступально за прямолінійною чи криволінійною траєкторією у горизонтальній площині вздовж блоку (за довжиною). Залежно від способу подачі на глибину різання поділяються на верстати з опусканням рами на блок та верстати з підніманням робочого стола з блоком.

Вертикально-розпилювальні верстати здійснюють розпилювання вертикально розташованою рамою, яка рухається зворотно-поступально у вертикальній площині або з невеликим нахилом відносно вертикалі вздовж висоти блоку, а стіл (візок) з блоком під час розпилювання подається горизонтально.

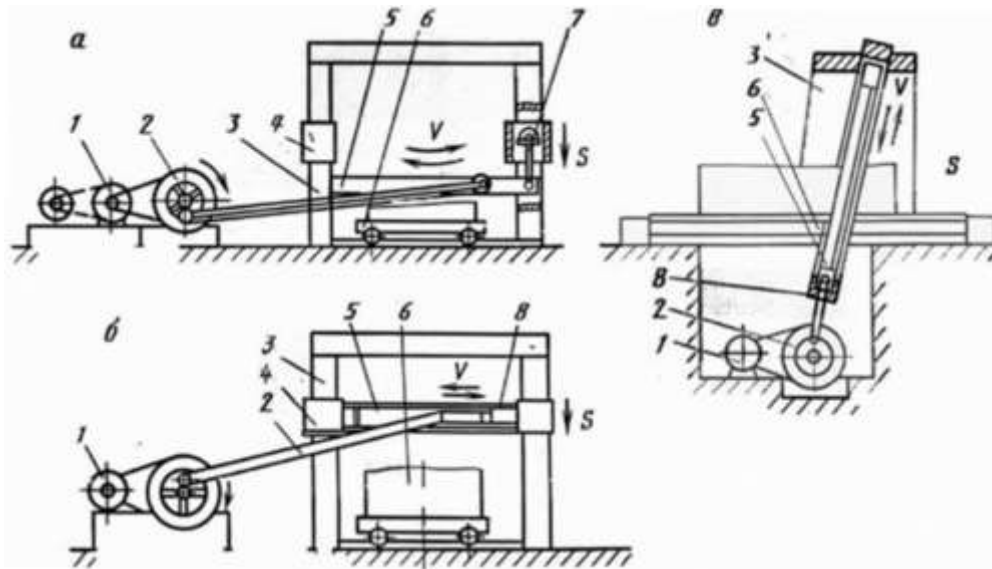


Рис. 4,2 Схеми штрипсових розпилювальних рамних верстатів: горизонтальних – з криволінійним (маятниковим) рухом (а) та з прямолінійним (б); вертикального – з прямолінійним рухом пильної рами (в).

Позначено: 1 – двигун; 2 – кривошипно-шатунний механізм; 3 – станина; 4 – повзун; 5 – пильна рама; 6 – візок; 7 – маятникова підвіска; 8 – прямолінійна напрямна; V – головний рух (швидкість різання); S – напрям робочої подачі інструмента [14].



Рис. 4.3 Штрипсовий верстат

Верстати спеціальної конструкції мають обмежену кількість пил (від 1 до 15 в разі закріплення у рамі чи 1 пилу, яка встановлюється без рами). Можуть застосовуватись штрипсові алмазні пили для розпилювання каменів будь-якої міцності. Перевага цих верстатів – можливість розпилювати великогабаритні блоки необмеженої ширини.

Верстати спеціальної конструкції поділяються на поперечно-розпилювальні – „тренизеге“ (з нім. – різати поперек, ділити) та одноштрипсові – „моноламе“. Перевага: можливість розпилювання великогабаритних блоків, бо один з лінійних розмірів блока не є обмеженим (частіш довжина).

Штрипсові рамні розпилювальні верстати мають наступні переваги:

- висока економічна ефективність розпилювання твердих і середньої міцності порід (іноді – єдина можливість розпилювання твердих порід);
- можливість розпилювання великогабаритних блоків;
- можливість встановлення одночасно великої кількості штрипсових пил (понад 100 шт.);
- можливість отримати великогабаритні плити незначної товщини (завдяки високій жорсткості інструменту);
- відносно низька енергоємність процесу.

Штрипсові верстати працюють у важких умовах: високі змінні навантаження на виконавчому органі – пильній рамі (особливо у маятникових верстатах при розпилюванні твердих порід типу граніту) і, відповідно, навантаження у механізмах приводу головного руху та робочої подачі; абразивне середовище; порівняно з іншим обладнанням – великі витрати на ремонт і відновлення.

У всіх верстатів рамного типу типовими є основні вузли:

- станина;
- пильна рама;
- головний привод (привод зворотно-поступального руху);
- механізм робочої подачі;
- верстатний візок.

Системами, які визначають ефективність роботи штрипсового верстату, є привод робочої подачі пильної рами (вертикальний рух, у маятникових верстатах – система „пильна рама–маятникові підвіси–ходові гвинти“, (рис. 4.2) та привод головного руху (зворотно-поступального).

За траєкторією руху пильної рами, тобто за кінематичним принципом, можна умовно розділити на два види:

- верстати з криволінійним рухом пильної рами – традиційні, де різання здійснюється сталевими штрипсами з присипкою кварцевого піску або чавунного чи сталевого

дробу, переважно з хитальним (маятниковим) зворотно-поступальним рухом штрипсової рами;

- верстати із прямолінійним зворотно-поступальним рухом пильної рами – алмазно-штрипсові.

Донедавна найбільш розповсюдженими були верстати маятникового типу, які використовувалися при розпилюванні з присипкою в зону різання вільного абразиву.

Верстати першої групи відносяться до верстатів з горизонтальним робочим ходом пильної рами, а верстати другої групи поділяються на верстати з горизонтальним і вертикальним ходом пильної рами.

Верстати з криволінійним рухом пильної рами

Можуть мати різні конструкції підвіски пильної рами і залежно від цього розрізняють 4 види траєкторії криволінійних рухів пильної рами: маятникова, опукла, випрямлена і вісімкоподібна.

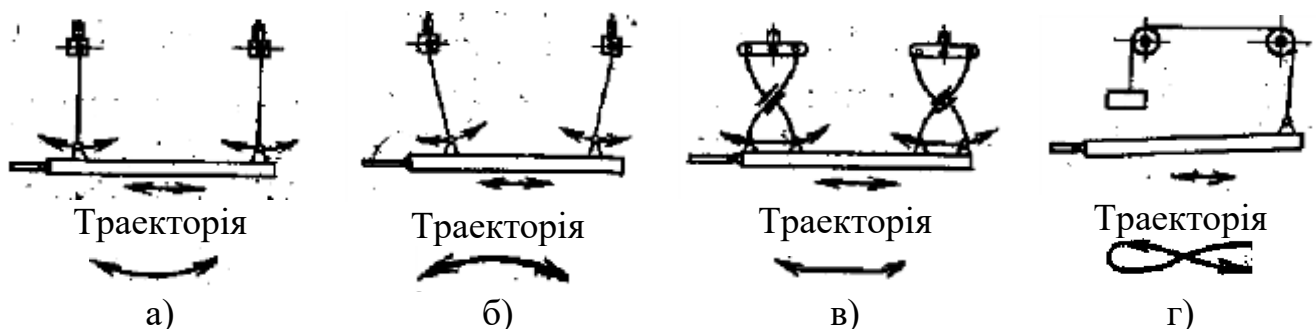


Рис. 4.4 Принципові схеми підвісок пильної рами:

- а) – маятникова; б) – опукла; в) – випрямлена; г) – вісімкоподібна [33].

а) Маятникову траєкторію забезпечують використанням простих паралельно встановлених підвісок (приклад застосування: СМР-043, „Імперіал“, „Адідже“ та ін.).

б) Опукла траєкторія застосована у верстатах „Супер-Макс“ (фірма „БРА“, Італія). Забезпечує короткочасний контакт, який безперервно переміщається по всій довжині різа, що дозволяє збільшити тиск розпилювання при невисокій енергоємності: встановлено 90 пил в рамі (є дослідження [10], які встановили, що опукла траєкторія ефективніша за традиційну маятникову з точки зору навантажень у нежорсткому приводі вертикальних подач: максимальні величини крутних моментів у передатних ланках менші на 30-40 %);

в) Випрямлена траєкторія забезпечується при використанні чотириланкової підвіски (рос. „чотирехзвенник Чебишева“). Збільшує довжину контакту інструменту з каменем,

дозволяє використовувати не лише абразивний, але й алмазний інструмент). Не набули поширення, оскільки ненадійні (прикладом є одноштрипсовий верстат СМР-078: габарити оброблюваного каменю (довжина необмежена)×3000×2000 мм; довжина штрипса 4000 мм; подача S= 20 ... 1000 мм/год.; швидкість різання 120 подв.х./хв.; натягнення 100-120 Н; потужність 18,5 кВт.)

г) Вісімкоподібна траєкторія: одна пара еластичних підвісок закріплена на передній частині рами, задній кінець закріплюється безпосередньо до кривошипу головного приводу. Поширення не набула.

Верстати з маятниковим рухом пильної рами.

Традиційні верстати мають горизонтальний криволінійний (маятниковий) рух рами, працюють в середовищі вільного абразиву – з підсіпанням кварцевого піску або чавунного дроби діаметром 2-3 мм чи сталевого діаметром 0,8..1,2 мм (для тонких плит товщиною 15-20 мм). Кількість пил у рамі максимум 60. Перевагою є можливість розпилувати камінь твердих порід.



Рис. 4.5 Верстат штрипсовий (Gang saw) Nf-50.00 з маятниковим рухом

Технічна характеристика:

Кількість штрипсів, шт. / Blade number, it	1-20
Потужність головного приводу, кВт / Main drive power, kw	37
Число хитань рами в хвилину / Number of swings	80
Хід пильної рами, мм / Saw frame passage, mm	500

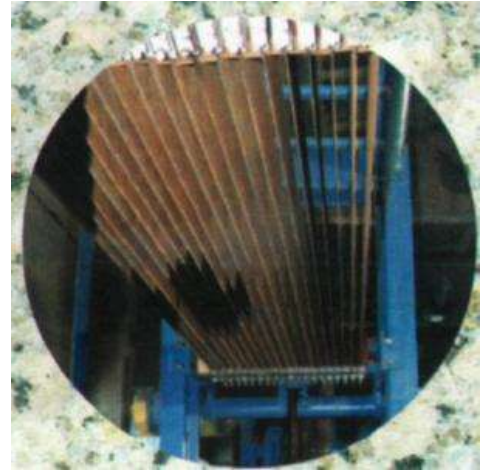
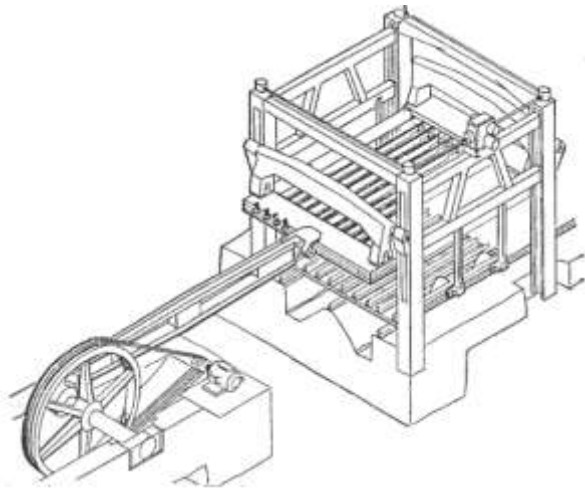


Рис. 4.6 Верстат штрипсовий широкоставковий із маятниковим рухом:
схема та загальний вигляд зони різання

Дробове розпилювання є найдешевшим. Це й визначило широке розповсюдження у каменеобробній промисловості штрипсових верстатів, зокрема з маятниковим і опуклим рухом пильної рами (тобто саме дробового розпилювання). Одними з найвідоміших виробників такого обладнання є Barsanti machine (Італія), Masterbreton (Італія), Gaspari Menotti (Італія), Simes (Італія), Keda (Китай) и т. д. У колишньому СРСР випускали досить якісні верстати СМР-043, К-3М, 1925, СМР-032.

Переваги маятникових штрипсових верстатів:

- наявність вільного ходу пильної рами у момент відсутності контакту штрипса з каменем (накопичується кінетична енергія, яка потім вивільнюється при різанні);
- ударне врізання зернин абразиву в камінь;

Недоліки:

- відсутність постійного контакту інструменту з каменем;
- малі швидкості різання;
- зсув осі хитання пильної рами (наявність дезоксіалу), оскільки кінець шатуна при зниженні рівня різання описує дугу, а не пряму. Наприклад, зсув осі хитання для верстата 1925 – ~ 30 мм, що створює технологічні ускладнення, утворюються уступи по кінцях штрипсів при зносі, які завдають ударів, втрачається сталість процесу.

Способи усунення дезоксіалу конструктивні і завжди ускладнюють верстат:

- подовження шатуна пильної рами (громіздка конструкція);
- пильні полотна спеціальної конструкції;

- використання шатунів із довжиною, яка саморегулюється дискретно або безперервно, наприклад, гідроциліндрами (складно);
- збереження постійного рівня різання підйомом заготовки, що розпилюється, або опусканням головного приводу синхронно з рамою (приклад застосування: верстати „Адідже“, „Тімаво“).
- виконують з вільним або примусовим опусканням пильної рами. Відмінність між ними полягає в способі з'єднання підвісок пильної рами з ходовими гайками (тяговими ланками) приводу подач.

Система вільного опускання пильної рами і регулювання швидкості її подачі залежать від маси рами. Система запобігає перевантаженням на верстат і інструмент, тобто запобігає зсуванню штрипса при розпилюванні, знижує технологічні втрати розпила.

Система примусового опускання пильної рами дозволяє збільшити і в певних межах регулювати тиск різання з метою збільшення швидкості подачі.

Механізм подачі містить:

- привод подачі (електродвигун);
- варіатор для регулювання швидкості подачі;
- редуктор;
- систему передачі обертання від редуктора на ходові гвинти;
- ходові гвинти і гайки (тягові ланки);
- супорти.

Модель верстата обирається підприємством за продуктивністю Q ($\text{м}^2/\text{год}$), якістю продукції, надійністю (коефіцієнт готовності, імовірність безвідмовної роботи), енергоефективність робочого процесу ($\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$).

На рис. 4.7 показано загальний вигляд штрипсового верстату MASTERBRETON.

Верстат містить:

- Чотири колони з гвинтовим механізмом, який здатний опускати пильну раму під час пиляння;

- Пильну раму, яку підвішено за допомогою шарнірів на чотирьох балках-плечах. На рамі закріплено 120-150 штрипсів, які натягнуто силою 50-90 кН на одну пилу;
- Махове колесо й кривошипно-шатунний механізм, який забезпечує зворотно-поступальний рух (60-80 подв. рух./хв).

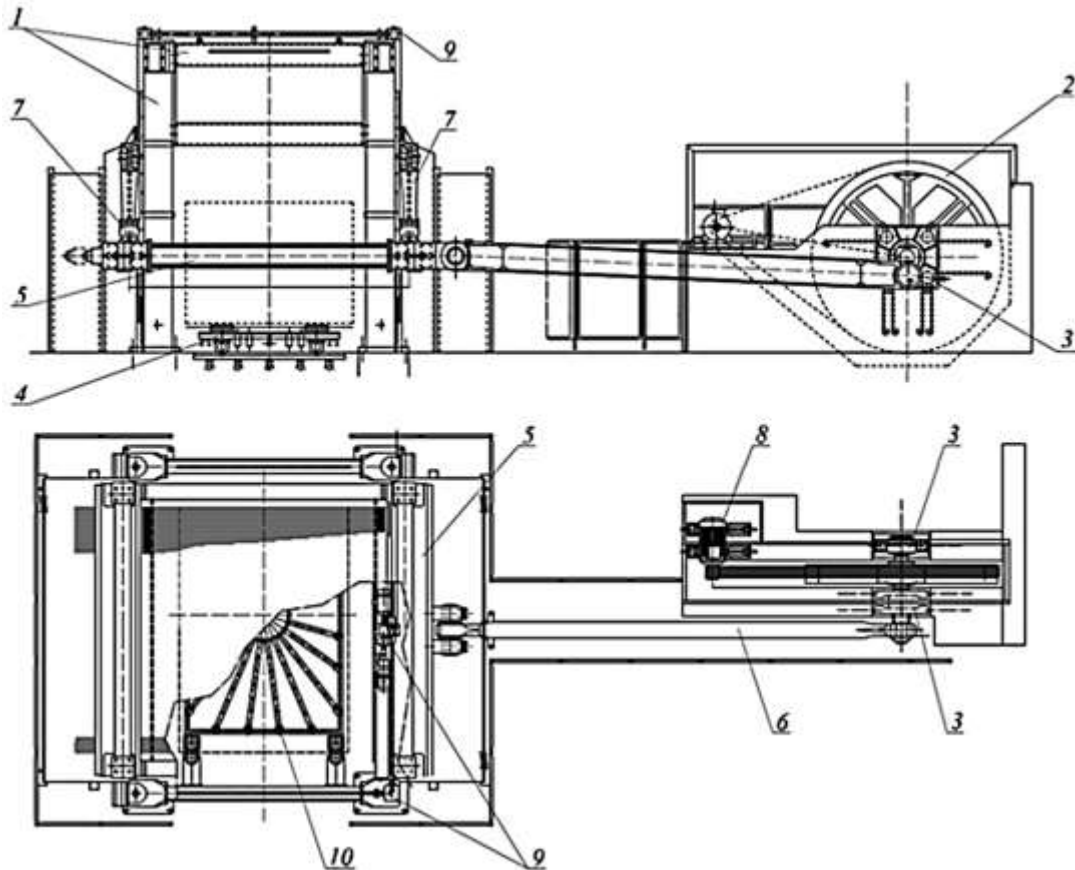


Рис. 4.7 Загальний вигляд штрипсового верстату MASTERBRETON [9].

Позначено: 1 – станина; 2 – махове колесо; 3 – опора махового колеса; 4 – верстатний візок; 5 – пильна рама; 6 – шатун; 7 – маятникові підвіски пильної рами; 8 – двигун приводу головного руху (двигун маховика); 9 – привод робочої подачі тай підйому-опускання пильної рами; 10 – розподільник пульпи.

Маятникові штрипсові верстати мають кількість пил 105-150 шт, встановлену потужність 50-90 кВт, витрати води 2000-3000 л/год [14].

Ще один приклад штрипсового рамного верстату наведено на рис. 4.8.

Потужне махове колесо повинно врівноважити сили інерції, які виникають при змінах (60 разів на хвилину) напрямку руху рами, що має масу 13-40тон. Махове колесо поглинає енергію, яка вивільняється при різкому гальмуванні рами. Ця енергія забезпечує рух пильної рами у зворотному напрямі.

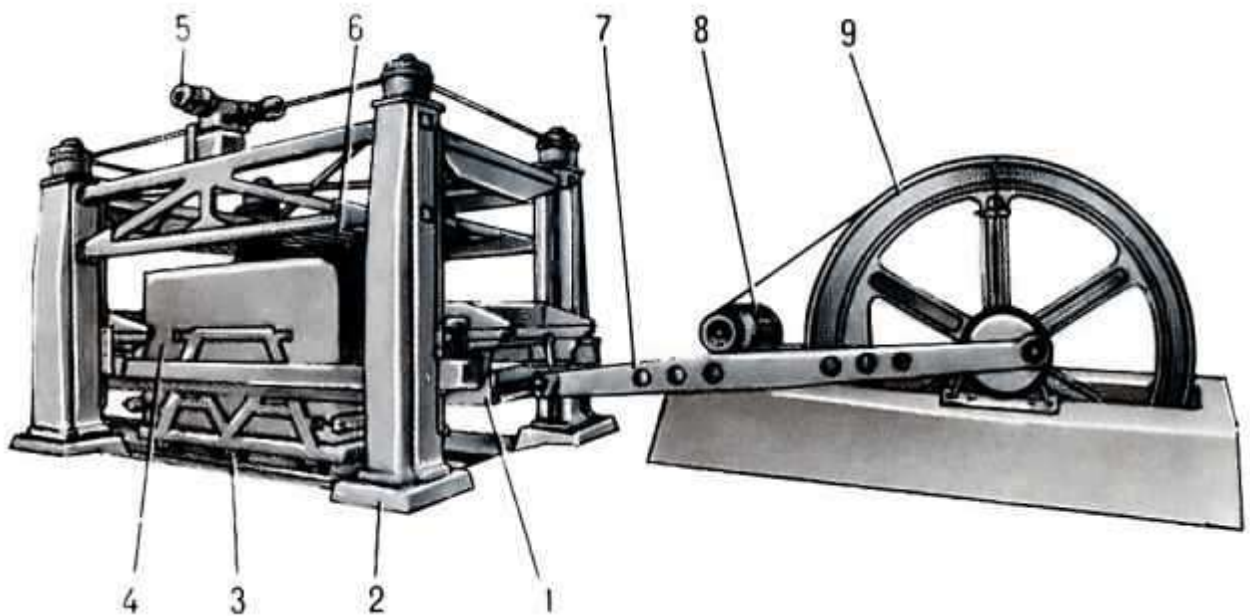


Рис. 4.8 Штрипсовий рамний верстат [33].

Позначено: 1 – пильна рама; 2 – колони з гвинтовим механізмом;
4 – боковий стяк верстатного візка; 5 – розподілювач пульпи з абразивом;
7 – шатун; 8 – електродвигун; 9 – махове колесо.

Характерний представник – СМР-043 (розробка СРСР), має маятниковий рух та примусове опускання пильної рами. Кількість пил тах 60, довжина ходу рами 400 мм.

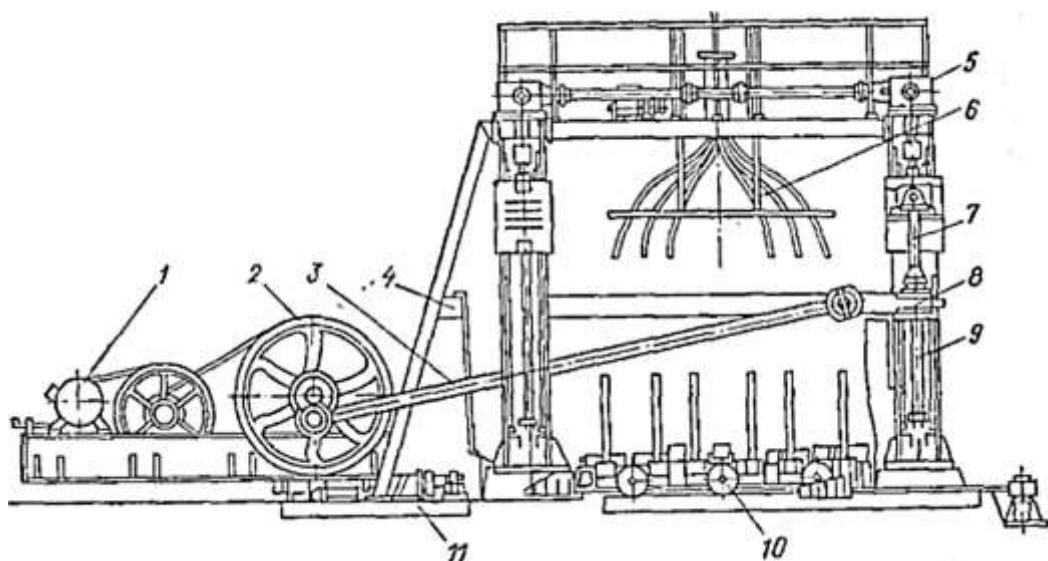


Рис. 4.9 Верстат з маятниковим рухом пильної рами СМР-043
(завод „Строммашина“) [33].

На схемі позначено: 1– електродвигун привода головного руху; 2 – маховик;
3 – шатун; 4 – огороження; 5 – механізм робочої подачі; 6 – розподілювач пульпи;
7 – маятникові підвіски; 8 – пильна рама; 9 – ходові гвинти; 10 – верстатний візок;
11 – привод верстатного візку.

Кам'яні блоки кладуть на візок, закріплюють клинами. Потім візок заїздить у міжрамний простір і його закріплюють клиновим пристроєм. Пильна рама знижується до блока, вмикається привод рами і насосний агрегат подачі пульпи. Пульпу вгору до розподільювача 6, який скеровує її у зону різання, подає відцентровий насос (у старих верстатах – ежектор). До абразивної пульпи додають негашене вапно (50 кг на 1000 мл води) для запобігання корозії дробу та штрипсу, зменшення в'язкості пульпи та збільшення працездатності абразивних зернин. Це також зберігає камінь від забруднення іржею.

Привод подачі із безступінчастим регулюванням передає рух на вертикальні гвинти, при обертанні яких супорти-гайки рухаються по напрямних вздовж вертикальних колон і опускають униз маятникові підвіски 7. Дві маятникові підвіски забезпечують хитання з амплітудою $A=400$ мм. Коливання рами надають 2 шатуни 3. Шатун виконано із сталеві труби з двома привареними головками-рознімними корпусами підшипників.

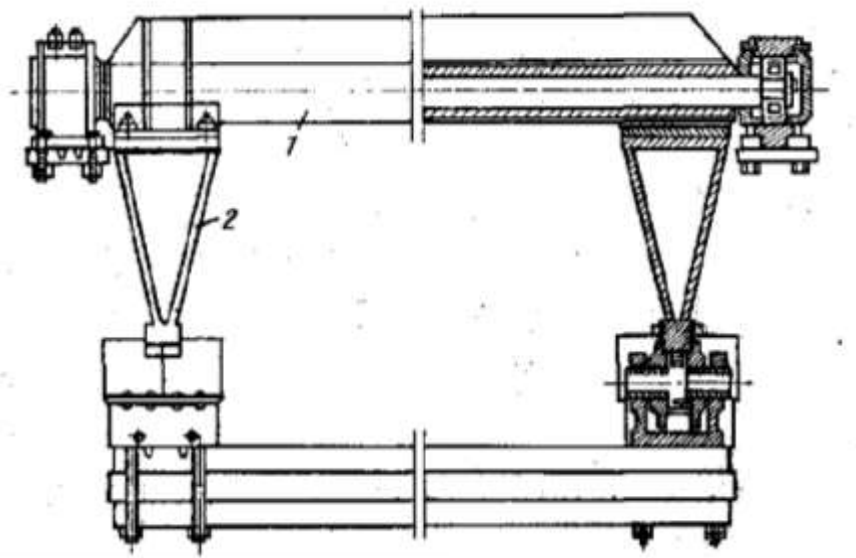


Рис. 4.10 Конструкція маятникових підвісок верстата СМР-043 [23].

Позначено: 1 – зварена вісь (виконана з товстостінної труби з двома цапфами); 2 – стійки.

Можливі два варіанти конструкції:

– безперервне переміщення гвинтів від окремого двигуна через редуктор. одночасно приводяться у дію 4 гвинти, тому всі гайки зв'язані зубчастими передачами задля забезпечення синхронності.

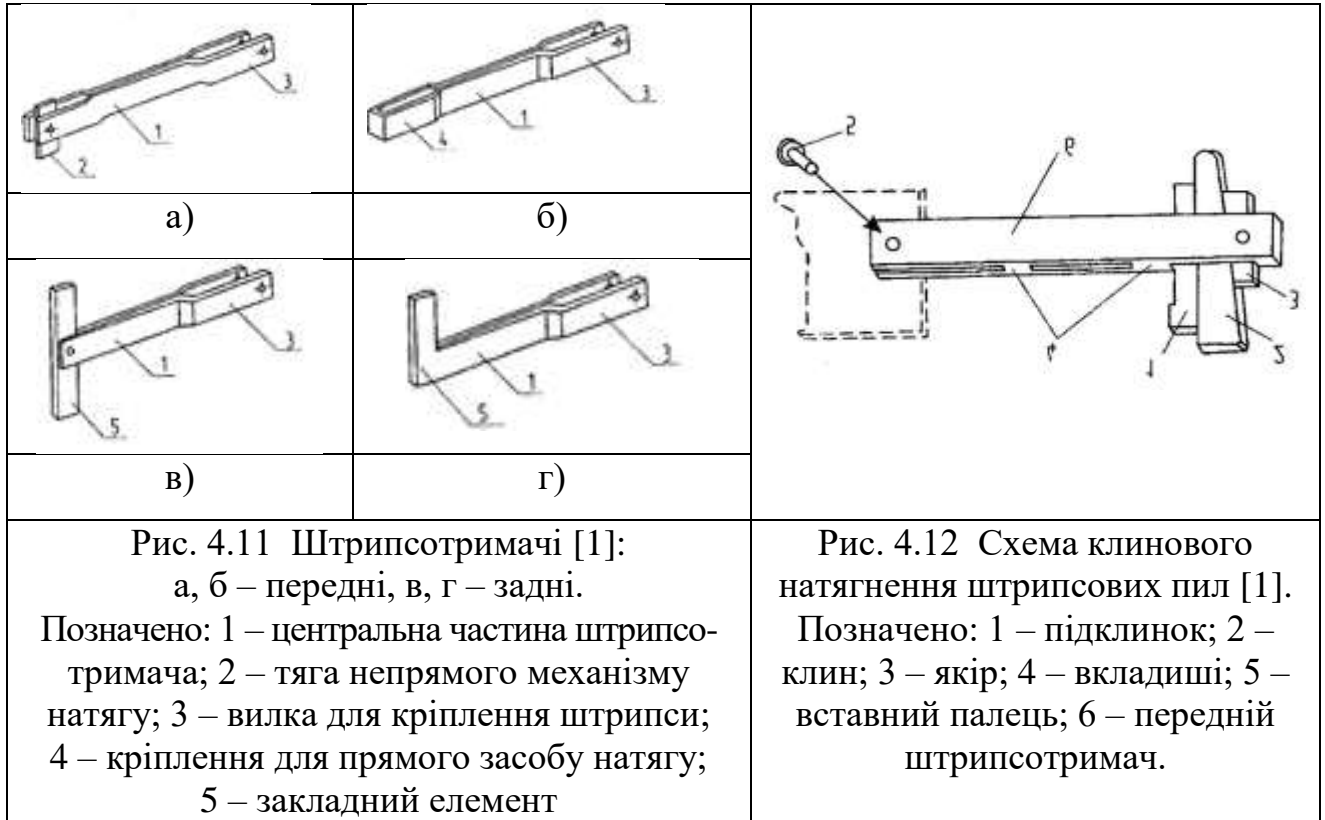
– циклічна подача, яка забезпечується храповим пристроєм, який приводиться у рух важелями, пов'язаними з механізмом приводу гвинтів.

Процес різання залежить від міцності та розмірів зернин кварцевого піску або дробу, швидкості гойдання рами, питомого тиску на абразивну масу та оброблюваний камінь, часу контакту пил із каменем та абразивною масою.

На більшості підприємств розпилювання блоків на плити здійснюють сталевими штрипсами товщиною 8-10 мм та чавунним дробом \varnothing 2-3 мм. З метою отримати тонкі плити товщиною 15-20 мм застосовують також тонкі штрипси товщиною 3-5 мм і сталевий дріб \varnothing 0,8-1,2 мм. В цьому випадку збільшується продуктивність на 40-50 %, зменшується енергоємність на 40 %, зменшується припуск на майбутнє шліфування з 1,5-3 мм до 0,3-0,6 мм, зменшуються витрати дробу. Діаметр дробу обирають залежно від товщини штрипсу: приблизно становить 0,25 його товщини.

До оснащення штрипсового верстату входять штрипсотримачі (рис 4.11) та пристрої для натягнення штрипсів (рис. 4.12). Штрипсотримачі – це дві сталеві смуги із звареними між ними пластинами. Мета – забезпечити певні зазори для встановлення штрипсових полотен і пристроїв натягнення. Передні штрипсотримачі передають зусилля від пристроїв натягнення, задні забезпечують кріплення штрипсів до поставу (для цього мають вилку для кріплення, а з іншого боку закладний елемент різних конструкцій). Для натягнення штрипсів використовують механічні пристрої (клинові, гвинтові, ексцентрикові), гідравлічні, пневматичні, гідромеханічні. Серед механічних способів найбільш розповсюджений клиновий (застосовують для розпилювання граніту неармованими штрипсовими пилами) [1]. Клини мають стандартні розміри: довжина 320 мм, ширина зверху 70 мм, знизу 40 мм, товщина 10 мм, матеріал – наприклад, сталь 45. Кут клина 5° - 10° . Сила натягнення при силі забивання клину 80 кН (8 т) становить 7-14 кН (залежно від куту клина). На верстатах алмазно-штрипсових використовують гвинтові пристрої. З конструкціями пристроїв натягнення можна ознайомитись у [1] та інших літературних джерелах.

При роботі верстата з маятниковим рухом пила притискає дріб до каменю і вдавлює його. Абразивна суміш містить окрім дробу вапно, воду і шлам (для збільшення в'язкості). Її збирають у спеціальному резервуарі і подають у зону різання повторно. У сучасних верстатах склад, щільність, в'язкість суміші контролюється й регулюється комп'ютером кожні 30-45 хв.



Штрипсові розпилювальні верстати, як вже зазначалося, працюють у важких умовах (особливо при розпилюванні твердих порід), що зумовлює високі змінні навантаження на виконавчому органі – пильній рамі. Навіть за значної ширини пили відбувається згин пили і втрачається сталість процесу (довжина пили до 4 м). Наслідком згину є змінювання часу контакту та питомого тиску. Зворотно-поступальний рух штрипсів зумовлює перекочування дробу з частотою, яка сягає 20-30 тис. об/хв як наслідок малого діаметра. Відлитий дріб має відхилення від сферичної форми, тобто перекочування його зумовлює виникнення динамічних навантажень. Динамічний характер має і сила різання: як наслідок ударів по дробу пили при її доторканні до каменю. Тобто дробове розпилювання є ударно-абразивним або вібраційно-абразивним процесом.

Швидкість різання на верстатах маятникового типу не перевищує 0,5-0,6 м/с, тобто їх не доцільно використовувати для розрізування блоків з вапняку, які мають міцність до 50 Н/мм², бо їх можна розрізати із більшою швидкістю.

З метою поліпшення введення (занурення) штрипсів у камінь та запобігання викривленню штрипсів верхню поверхню каменю заливають швидкотверднучим гіпсом, який відіграє роль напрямних при зануренні штрипсу у камінь.

Час роботи до відмови для багатьох елементів штрипсового верстату є невеликим, зокрема виникають поломки через стрибкоподібний характер динамічних навантажень та абразивне зношення, а ремонт цих верстатів трудомісткий і вартісний. Однією з найслабших ланок штрипсового верстату є пара ходовий гвинт-ходова гайка вузла вертикальної подачі пильної рами. Шляхом збільшення довговічності ходових гвинтів та гайок є підвищення зносостійкості завдяки збільшенню площі робочої поверхні (площі контакту), тобто зниження контактної напруги. З цією метою можливо збільшити діаметр ходового гвинта й гайки або збільшити крок гвинта. Обмеженням є габарити корпусу (колон) верстату й матеріалоємність. В [10] наведені залежності змінювання конструктивних параметрів елементів приводу вертикальних подач, які мають низьку надійність, за умови опуклої траєкторії. Наприклад, ширині пильної рами 5,5 м конкретного верстату відповідає ходова гайка із середнім діаметром 74-80 мм, довжиною 150-200 мм і кроком 12-16 мм, а у редукторі ходового гвинта слід застосовувати зубчасті колеса з модулем 8-9 мм.

Аналіз продуктивності й енергоефективності штрипсових верстатів з маятниковим і опуклим рухом пильної рами показав [9], що світова тенденція підвищення продуктивності штрипсових верстатів пов'язана із збільшенням ширини пильної рами, тобто й ширини розпилюваної ставки, складеної з блоків. З'явилися верстати з шириною рами (підрамний простір) до 7,5 м та кількості пил до 260 При цьому питомі енерговитрати збільшуються відносно незначним чином і зумовлюються переважно недосконалістю конструкцій нових моделей верстатів, які розраховані на збільшену ширину пильної рами. Але для таких верстатів значно зростають статичні й динамічні навантаження на елементи приводів. У зв'язку з цим підвищено міцність пил та основних елементів верстата. Покращено якість пил конструктивними засобами (наприклад, на поверхні пили виконують жолобки щоб утримувати абразивну суміш у зоні різання й легше видаляти шлам. За рахунок ускладнення конструкції маятнкової підвіски рами вдалося дещо спрямити криволінійну траєкторію руху пили, що підвищило рівномірність процесу різання і продуктивність.

Запропоновано [10] створювати штрипсові комплекси для великих підприємств, що випускають значний обсяг тонких плит з великими розмірами за довжиною й

шириною (слябів). Подібний комплекс мав би спільну лінію подачі блоків у робочий простір та видачі розпиленої ставки для транспортування для наступної обробки, а також спільне обладнання для підготовки абразивної пульпи.

Верстати з прямолінійним рухом пильної рами.

Широко розповсюдилися у зв'язку з впровадженням штрипсових пил, армованих алмазними різальними елементами. Мають від 10 до 100 пил, що працюють одночасно, швидкість різання 1-3 м/сек та встановлену потужність до 160 кВт (1,0-2,5 кВт/пилу залежно від кількості сегментів – 20-30 або 30-40). Робоча подача 200-400 мм/год за продуктивності 10000-12000 м²/місяць, частота подвійних ходів 80-120 у хвилину. Вони майже повністю замінили традиційні штрипсові верстати при розпилюванні каменів м'якої та середньої твердості (мармуру, травертину, базальту, при оптимальних умовах – граніту).

Головна особливість алмазно-штрипсових верстатів – це відсутність підвісок та прямолінійний рух штрипсової рами, що дозволяє зберегти постійний контакт алмазних штрипсів із каменем та зменшити удари при вході та виході пили з каменю, що й дало можливість використати алмазний інструмент і при тому забезпечити розпилювання каменів середньої твердості (за оптимальних умов – навіть граніт). Основна умова роботи цих верстатів – забезпечення натягування пил.

Верстати з прямолінійним рухом пильної рами передбачають використання тільки алмазних штрипсових пил і використовуються для розпилювання каменів м'якої та середньої твердості (мармур, базальт,

Прямолінійний рух штрипсової рами забезпечує постійний контакт штрипсів із каменем та зменшення ударів при вході й виході пили. Саме це дозволило використати алмазний інструмент.

Алмазне розпилювання характеризується збільшеними подачами, дозволяє збільшити кількість одночасно працюючих штрипсів. Верстати мають вузли підвищеної жорсткості.

Основні конструктивні елементи верстатів обох типів є аналогічними, але верстати з прямолінійним рухом рами можуть бути як вертикальними так і горизонтальними. Конструктивною особливістю є відсутність підвіски: рама здійснює зворотно-поступальний рух у прямолінійних напрямках. Однаково розповсюджені напрямні як ковзання, так і кочення.

Напрямні кочення конструктивно виконують 2-х типів:

- з роликками, осі яких нерухомо закріплено у супортах;
- з роликками, що рухаються разом із пильною рамою.

Алмазне розпилювання характеризується більшими стружками за рахунок збільшеної подачі. Окрім цього збільшена й кількість одночасно працюючих штрипсів. Тому окремі вузли посилені, збільшено жорсткість системи.



Рис. 4.13 Алмазно-штрипсовий верстат.

Горизонтальні верстати мають 2 виконання:

- з примусовим опусканням пильної рами;
- з підніманням робочого столу.

Верстати з примусовим опусканням пильної рами мають змінний рівень різання. Вони дозволяють вести розпилювання в автоматичному режимі згідно заданого зусилля різання.

Верстати з підйомом столу характеризуються постійним рівнем різання: пильна рама рухається на постійному рівні (тобто на одному рівні лишаються вісь головного приводу і площа рами), а подача здійснюється підйомом столу, на якому закріплено камінь.

В цих верстатах відсутній дезоксіал. Конструкція дозволила вкоротити шатун, тобто зменшити загальні розміри верстата та масу рухомих вузлів, тож зменшити шкідливі інерційні навантаження. Як наслідок, збільшено швидкість різання та забезпечено її плавне регулювання у широкому діапазоні.

Типові представники.

СМР-069. Верстат розпилювальний широкоставковий з прямолінійним рухом пильної рами та примусовим її опусканням.

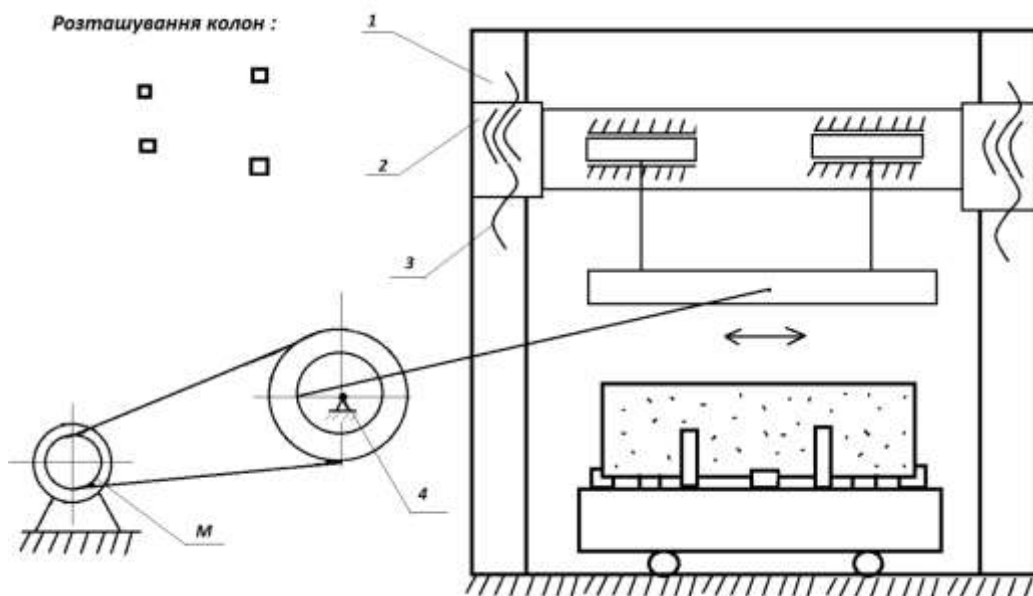


Рис. 4.14 Верстат розпилювальний.

Просторова конструкція містить чотири вертикальних зварених колони 1 з листової сталі коробчастого перерізу. Зверху вони поєднані поздовжніми та поперечними балками. По колонам рухаються чотири супорти, що мають тягові механізми у вигляді ходових гвинтів 3. Привод рами встановлено на окремому фундаменті. Двигун має підвищений пусковий момент. На приводному валу 4 розташовано два кривошипи та маховик. Сам приводний вал встановлено на сферичних роликотпідшипниках. Обертання від двигуна передається клинопасовою передачею на маховик. Пасова передача поглинає інерційні зусилля, сприяє рівномірному рухові рами.

На рамі знаходяться опори зворотно-поступального руху. Конструктивно можливі 2 варіанти: повзуни ковзання з можливістю самовстановлення (2 пласкі напрямні, 2 призматичні трикутні) або ролики, що утворюють 4 ходових візки.

Із супортами пов'язані 2 супортні балки (одна має плоскі напрямні, а друга – призматичні). Балки рухаються у вертикальному напрямі. На колонах передбачено конічні редуктори, що забезпечують синхронне обертання ходових гвинтів.

Розміри оброблюваного блока 2800x2000x1800. Кількість алмазних штрипсів – 65 (на верстатах цього типу тах до 88). Мінімальна товщина плити – 20. Хід візка – 50 мм, кількість подвійних ходів пильної рами – 85 подв.х./хв., $V_{різ} = 1,67$ м/с. Сумарне зусилля натягування одного штрипсу у рамі – 70 кН (7 т). Витрати води – тах 36 м³/год. Потужність привода зворотно-поступального руху рами 110 кВт, загальна – 118,86 кВт. Габарити – 13150x6000x4850 мм.

СМР-032 А – аналог.

Технічна характеристика верстату СМ-032: Кількість пил тах 40. Довжина ходу рами 500 мм. Частота коливань рами $n=100$ подв. х / хв. Потужність приводу головного руху 75 кВт. Подача $S=20... 400$ мм/год.

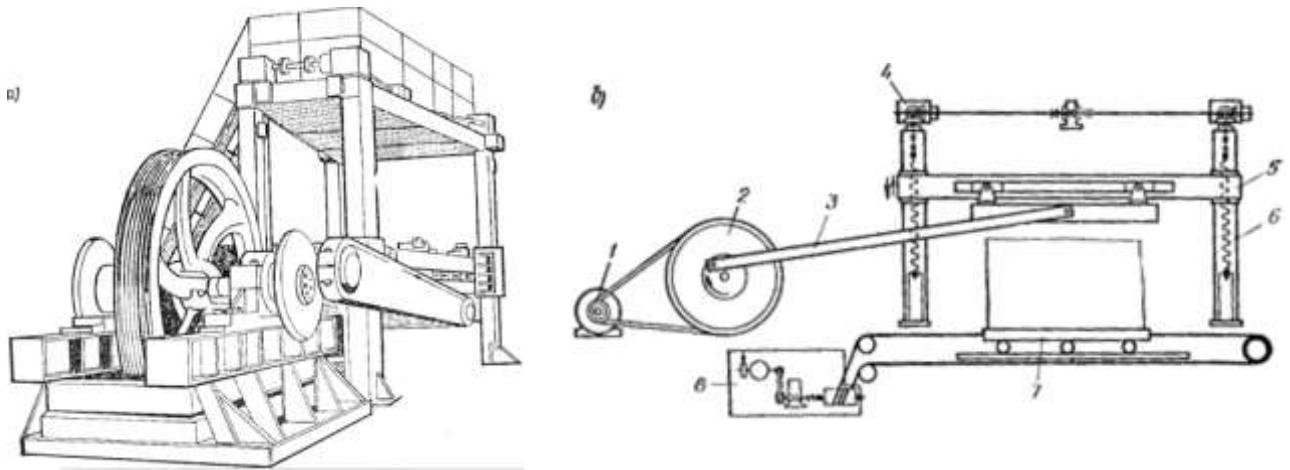


Рис. 4.15 Верстат з прямолінійним рухом пильної рами СМР-032.

Позначено: а) Загальний вигляд. б) Схема, на якій позначено:

- 1 – електродвигун привода головного руху; 2 – маховик; 3 – шатун;
- 4 – вузол привода подач; 5 – супортна рама; 6 – колона; 7 – верстатний візок;
- 8 – механізм переміщення верстатного візка.

Колони збоку привода зміщені до середини, щоб не заважати шатунам.

Привод подачі здійснює робочу подачу із безступінчастим регулюванням швидкості й пришвидшений підйом та опускання пильної рами. Система змащування примусово подає мастило на напрямні руху пильної рами (індивідуальне змащування). Візок рухається по рейках на фундаменті верстата й фіксується у робочій зоні.

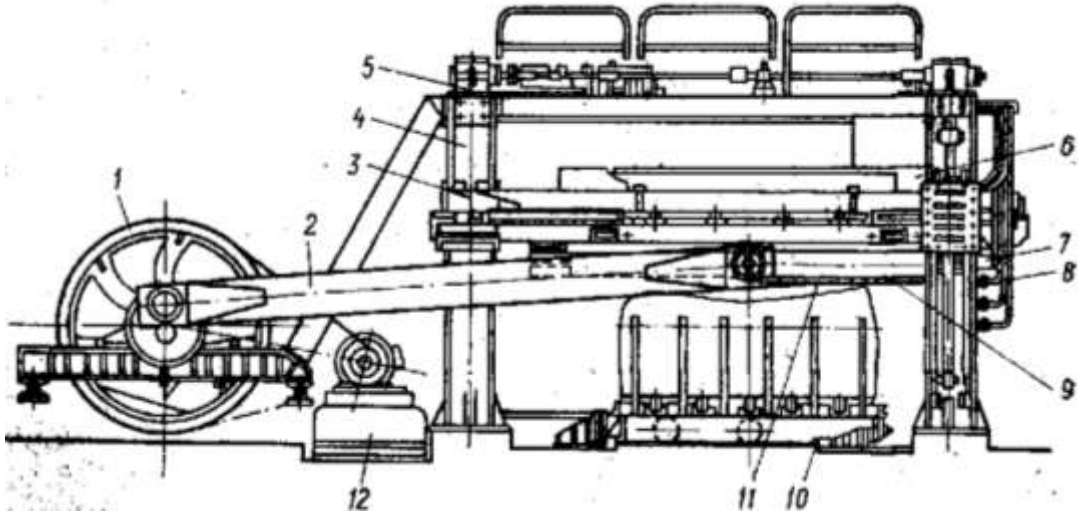


Рис. 4.16 Верстат з прямолінійним рухом пильної рами СМР-032.

Позначено: 1 – маховик; 2 – шатун; 3 – супортна рама; 4 – колона;
5 – привод подачі; 6 – система змащування напрямних; 7 – система охолодження;
8 – пристрій гідравлічного натягу; 9 – пильна рама; 10 – верстатний візок;
11 – штрипси; 12 – механізм переміщення верстатного візка.

Недолік: складність видалення шламу, що заважає створенню потокового виробництва.

Усунути цей недолік можна у випадку прямолінійної подачі пильної рами у вертикальній площині. Зменшується довжина штрипсів, бо розпилювання здійснюється по висоті, а не по довжині. Наслідком є збільшення жорсткості інструмента та зменшення маси рухомих вузлів, що дає можливість виконувати розпилювання на підвищених швидкостях (до 5 м/с).

2. СМР-077. Швидкісний алмазно-штрипсовий розпилювальний верстат.

Складається з 2-х зварених опорних рам на фундаменті. По горизонтальним напрямним опорної рами рухаються котки 2-х підвісок 8, до яких болтами прикріплено пильну раму з встановленими штрипсами.

На кронштейнах колон 3 розташовано платформу 4, що рухається по колонах по вертикалі.

Стіл 4 із заготовкою подається по рейках на платформу, фіксується відкидними болтами. Робоча подача та прискорені рухи здійснюються гідроциліндром 6, розташованим під платформою.

Пильна рама 1 зварена. З одного боку закріплено шатун 5, а з другого – напрямна гідроштовхача 7 натягування штрипсів.

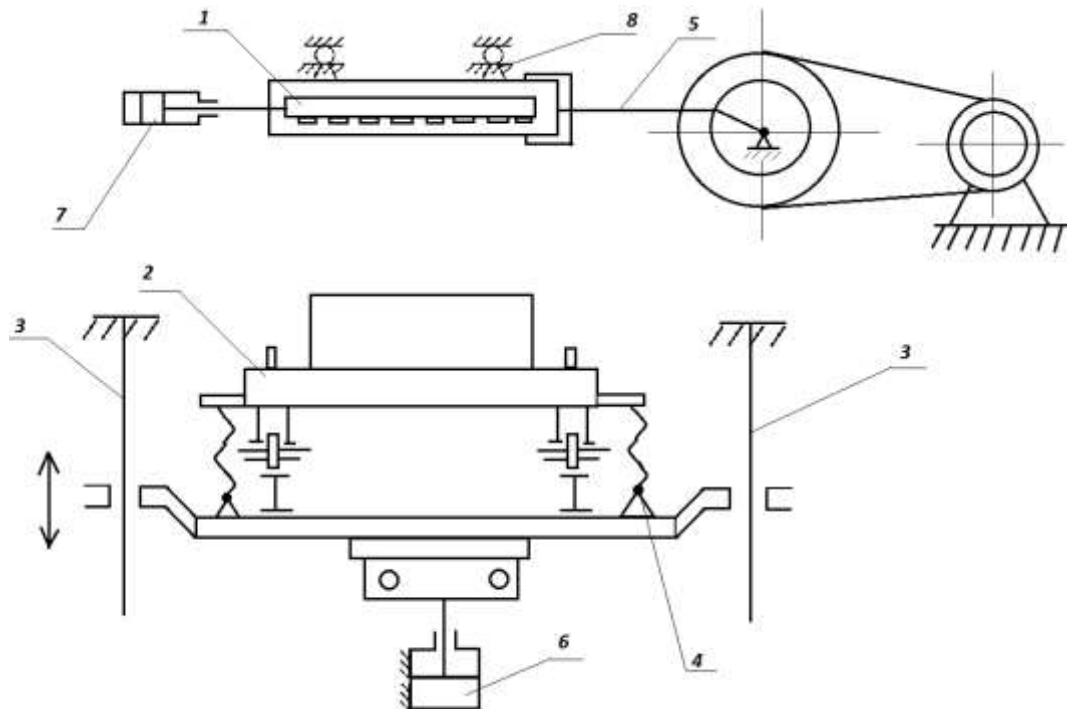


Рис. 4.17 Швидкісний алмазно-штрипсовий розпилювальний верстат СМР-077

Розміри блоку-заготовки: 1200×1100×1100. Кількість штрипсів – 40. Товщина плит: 15; 20; 25; 30; 40. Подача $S = 40 \dots 600$ мм/год. Зусилля натягування одного штрипсу – 40 кН.

Швидкість підйому та опускання — 300 мм/хв. Потужність приводу головного руху 37 кВт.

На рис. 4.18 показано схему дещо іншого конструктивного варіанту швидкісного алмазно-штрипсового розпилювального верстату.

Ефективність розпилювання значним чином визначається дотриманням умов експлуатації штрипсів. Верстати забезпечують:

– пристроями для натягування штрипсів (зусилля натягування забезпечують гідроциліндром і становить воно 80 кН);

– пристроями для контролю нормальної складової сили різання (при її збільшенні погіршується робота і можлива втрата сталості, зменшується строк експлуатації).

Розрахунково критичну силу визначають з умов сталості.

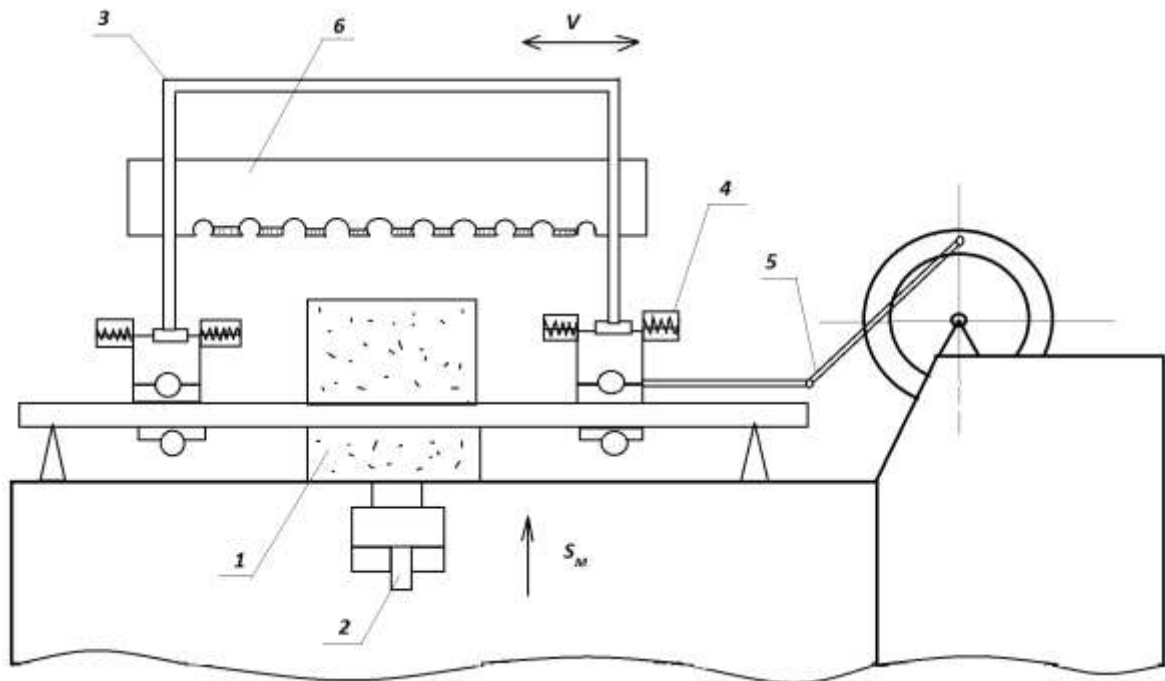


Рис. 4.18 Швидкісний алмазно-штрипсовий розпилувальний верстат.
Позначено: 1 – оброблюваний камінь; 2 – гідроциліндр подачі каменю;
3 – штрипсова рама; 4 – пристрій амортизації; 5 – привод головного руху;
6 – алмазно-штрипсова пила; 7 – напрямні кочення.

Розроблені також конструкції із **вертикальними рамами** та двома рамами. При вертикальному розташуванні рами можлива безперервна подача каменю, покращуються умови виведення стружки із зони різання, але жорсткість опор пильної рами забезпечити важко, хоча в цілому жорсткість системи (зокрема, інструменту) вища. Маса рухомих вузлів менша, тож можна використовувати швидкість до 5 м/с і підвищити продуктивність. Застосовують для розпилювання алмазними штрипсами порід м'яких та середньої твердості, рідше – твердих.

Наприклад, верстат **СМР-007**: кількість пил – 70, хід рами – 500 мм, $N_{\text{ШТР}}=75$ кВт, заготовка 2800x1400x1400 мм;

мод. **НВД-60**: кількість пил 60, хід – 600 мм, $n = 120$ подв.х/хв, $N_{\text{ШТР}}=95$ кВт, заготовка 4000 × 1650 × 1700 мм.

Конструкції з **двома рамами** використовують з метою гасіння ударів при вході та виході інструменту з каменю, що робить ці верстати придатнішими для застосування алмазних інструментів.

Основна рама (зовнішня) з'єднується із штрипсовою рамою, яка знаходиться у середині (є охопленою) через амортизатори. Рух до штрипсової рами передається від основної рами, до якої рух передається шатунами. Амортизатори поглинають удари, збільшують стійкість штрипсів. Недолік: великі інерційні навантаження внаслідок великих рухомих мас (дві рами та механізм подачі). Для зменшення маси рухомих частин використовують для подачі каменю гідросистему з автоматичним регулюванням.

Верстати спеціальної конструкції – приклади технічних характеристик:

Поперечно-розпилювальний:

мод. IXA-15 (фірма „Бретон“, Італія), 15 пил, переміщення 520 мм, швидкість головного руху $n=80$ подв.х/хв, $N=30$ кВт, заготовка: (необмежений розмір) $\times 3000 \times 1600$ мм.

„Супер“ (фірма „Ван Вурден“, Голандія): 15 пил, хід 500 мм, $n=125$ подв. х/мин., $N=75$ кВт ... $\times 2700 \times 1800$.

Одноштрипсові:

„Пума“ (фірма Грегорі, Італія): ход 400, 120 дв. х/мин, потужність двигуна $N=11$ кВт, заготовка: (необмежена довжина) $\times 3500 \times 2000$ мм.

мод. МО-350 (фірма «Морденті», Італія): хід 400 мм, швидкість головного руху $n=130$ подв. х/хв., потужність двигуна $N=15$ кВт, заготовка: (необмежена довжина) $\times 3500 \times 2200$ мм.

В якості заготовки використовують так звані „ставки“, які складаються з декількох блоків, сформованих з метою максимального заповнення робочого простору розпилю-

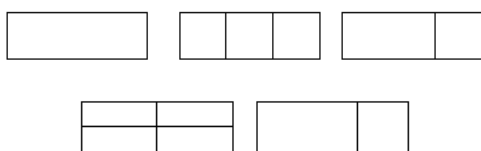


Рис.4.19 Варіанти формування ставок

вального верстату. Від якості формування ставки залежить продуктивність верстата, вихід плит і їхня якість, зношення пил. Такий підхід дозволяє відмовитись од виколювання розмірних блоків в кар'єрі. Ставку складають 2-3 блоки, при формуванні

ставки блоки підгоняють за розмірами верстатного візка (зокрема, через відхилення від прямого кута суміжних граней – для колотих блоків припустимо 150 мм).

Умова: однакова ступінь оброблюваності, інакше найважче оброблюваний блок визначає (обмежує) продуктивність. Блоки ставлять на дерев'яні шпали і бруси, вирівнюють підшову ставки (бажано смужками природного каменю), підливають на шпали розчин високоміцного гіпсу, щоб блоки не могли зміщуватися при розпилюванні. Щоб попередити змивання абразиву у разі, якщо верхня горизонтальна поверхня нерівна, гіпсом можуть заливати ставку по периметру.

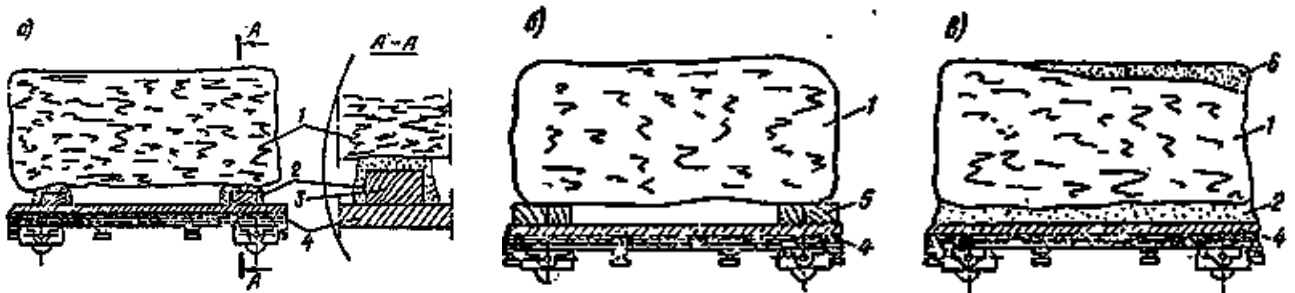


Рис. 4.20 Варіанти закріплення блоків (ставок) граніта на верстатному візку [33].

- а) – за допомогою дерев'яних брусків та гіпсу високої міцності;
- б) – з використанням дерев'яних клинів; в) – перетворюванням у моноліт цементуючим составом з вирівнюванням верхньої грані.

Позначено: 1 – розпилюваний блок; 2 – цементуючий состав; 3 – дерев'яний брусок; 4 – верстатний візок; 5 – дерев'яні клини; 6 – вирівнюючий шар гіпсу.

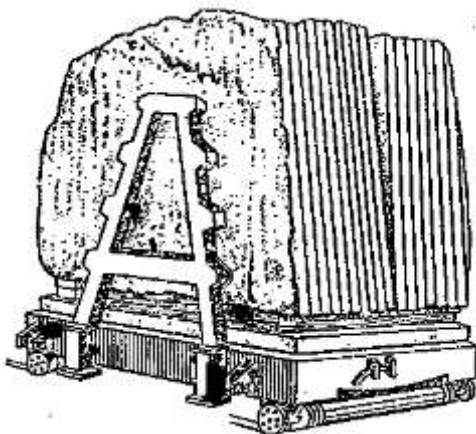


Рис. 4.21 Загальний вигляд верстатного візка з розпилюююю ставкою

Розпилювання ставки розділяється на 3 стадії: початкова, основна, завершальна. Найбільш відповідальна стадія – початок розпилювання (запилювання), коли штрипси ще не занурилися в камінь. В цей час зменшується сталість постава, треба використовувати невеликі швидкості подач, щоб на штрипси не діяв великий тиск. Для правильного запилювання верхню грань заливають високоміцним гіпсом.

Втрата темпу при запилюванні компенсується підвищеною швидкістю основного розпилювання. Запилювання здійснюється з підвищеним вмістом абразиву в пульпі і

при постійному контролі за натягненням штрипсів. Треба стежити, щоб дріб потрапляв під всі штрипси, інакше можливе викривлення або вигин, навіть розрив тонких штрипсів.

Друга стадія – після того, як штрипси занурились в камінь, потребує перевірки натягнення пил і збільшення натягу підбиттям клинів. Запилювання відбувається із швидкістю подачі ~50 % від оптимальної. Після заглиблення штрипсів на 90-100 мм швидкість подачі доводиться до оптимальної: її підвищують на 20 мм/год. кожні 15 хв. Чим менше штрипсів встановлено, тим більшою може бути швидкість подачі.

Після пропилювання блоків ~ на 2/3 висоти в кожну щілину різу ставляться дерев'яні клини. Між блоками і бічними сторонами верстата теж передбачено розклинювання.

На візку з бічних сторін є проушини, в які вставляють металеві клини, що не дозволяють розвалитися розпиленій до кінця ставці при витягуванні візка. Пиляння останніх 100 мм здійснюється на знижених робочих подачах (40-50 % від оптимальної).

4.2.2 Дискові каменерізні верстати

Каменерізні машини з стаціонарного типу обертовим дисковим виконавчим органом (дисковою пилою) призначені для виконання наступних операцій (класифікація за технологічними ознаками):

- розпилювання блоків на плити, зокрема на тонкі облицювальні (личкувальні) товщиною 20-40 мм (економічно доцільно розпилювати блок одразу на тонкі плити);
- пасирування блоків з метою отримання блоків-заготовок;
- обкантовування (обрізування) кромek тонких плит;

Тобто верстати попри багатьом спільним конструктивним ознакам поділяються за призначенням на розпилювальні й фрезерно-обкантовувальні.

Розпилювання блоків дисковими верстатами дозволяє оцінити декоративність, зокрема, кольорову гаму, і дефектність каменю ще у процесі розпилювання (на відміну від рамних штрипсових верстатів), можна розпилювати блоки невеликих розмірів, які значно дешевші, а розпилювання блоку рамними штрипсовими верстатами зумовлює збільшення витрат часу за рахунок тривалих підготовчих операцій і орієнтоване на розпилювання лише великих блоків. На дисковому верстаті можна розпилювати як блоки, так і плити різної товщини, при тому розпилювання відбувається швидше у

2-3 рази, ніж на рамних штрипсових верстатах. Дискове розпилювання вигідно при виробництві бортового каменю, сходинок, цокольних плит, архітектурних виробів тощо: чим товща плита, тим вищі економічні показники процесу. Процес обкантовування взагалі є прерогативою саме дискових верстатів.

Більшість дискових розпилювальних верстатів мають робочим інструментом обертові дискові пили стаціонарного типу:

- армовані твердими сплавами – для обробки вапняків невисокої міцності (до 25 Н/мм²);
- армовані абразивними крихтами;
- алмазні сегментні (відрізні круги) – найпоширеніші, забезпечують швидкість різання 30-80 м/с (порівняти: штрипсові маятникові 0,8 м/с, з прямолінійним рухом ~ 2 м/с).

Переваги цих верстатів:

- значна швидкість різання (тобто й продуктивність розпилювання);
- конструктивна простота, тобто незначна матеріалоемність і відносно невисока вартість;
- зрівноваженість інерційних сил у працюючому верстаті.

Основний **недолік** зумовлюється низьким коефіцієнтом використання діаметра пил (0,35-0,38), що обмежує висоту розпилюваних блоків, характерна також значна енергоємність процесу розпилювання, шум під час роботи. Висота блоків для дискового розпилювання становить 400-1350 мм, довжина й ширина визначаються конструкцією верстату (розмірами робочого простору) і знаходяться в межах (3000-3500)×(1800-2200) мм.

Для розрізування блоків значної висоти доводиться використовувати фрези більшого діаметра (Ø 2000-4000 мм, іноді до 5000 мм) або застосовувати верстати, в яких замість дискових пил встановлено кільцеві фрези. Завдяки більшій сталості кільцевих фрез ними можна розрізувати блоки з гірських порід дуже великої міцності. Недолік кільцевих фрез – значна ширина пропила, тому їх застосовують для видобутку блоків, але не для подальшого розрізування блоків на плити.

За кількістю інструментів:

- однодискові;
- багатодискові.

На каменеобробних підприємствах, які займаються розпилюванням блоків з натурального каменю, домінують багатодискові верстати. Вони здатні розпилювати блок як за один прохід, так і за кілька проходів. В першому випадку вони реалізують послідовну схему різання, коли кожен з дисків встановлено на власному валу вздовж лінії різання (рис. 4.22, а), в другому – всі диски змонтовані на одному валу з єдиним електродвигуном (рис. 4.22, б), а різання здійснюють за кілька проходів за схемою зворотно-поступального переміщення дисків відносно розпилюваного блоку.

Багатодискові верстати безперервного різання переважно використовуються в автоматичних та потокових лініях для багатодискового розпилювання слябів (тобто плит-заготовок) на задані розміри і за максимальної продуктивності. Верстат може робити одночасно кілька паралельних різів на граніті глибиною до 40-50 мм. Відповідно розрізняють одновалові та багатовалові (з паралельними валами) верстати, а також ортогональні, які мають два вали – вертикальний і горизонтальний, які встановлено на одному мосту. Диск більшого діаметру за один прохід здійснює вертикальний різ, а інший диск меншого діаметру виконує горизонтальне відрізування заготовки, яку відокремлюють від блоку. Вертикальний і горизонтальний диски встановлюють на єдиному (спільному) мосту, що має можливість переміщуватися у двох площинах на відміну від багатодискових верстатів для багатопрохідного розпилювання: диски встановлено на окремих автономних мостах, які переміщуються послідовно – після завершення вертикальних пропилів здійснюють горизонтальне підрізування відокремлюваних заготовок.

Верстати з дисками дуже великого діаметру (\varnothing 2000-4000 мм, іноді до 5000 мм) мають обмежене використання, переважно застосовують для розпилювання граніту на деталі великого розміру, в першу чергу за товщиною (наприклад, товщиною до 1500 мм, довжиною до 4000 мм). У зв'язку із дисковими пилами великих діаметрів мова йде про верстати однодискові, іноді дводискові: з двома дисками, які працюють паралельно, та, можливо, з поворотним столом. Характеризуються значними витратами матеріалу через значну ширину пропилю (до 30 мм), зношенням інструменту та значним споживанням електроенергії.

Швидкість різання для великих відрізнних алмазних пил залежно до класу гранітів становить 20-35 м/с, а продуктивність – 150-600 см²/хв [14].



Рис. 4.22 Багатодискові розпилювальні верстати: а) – багатоваловий мод. 3ТQ-100; б) – одноваловий мод. DYZJ; в) – ортогональний мод. HMSJ-180.

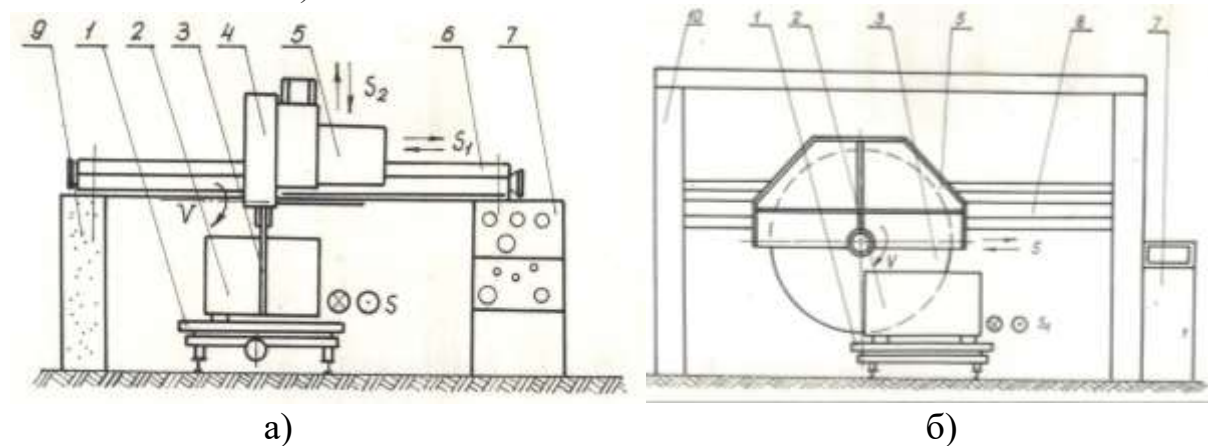


Рис. 4.23 Компонувальні схеми розпилювальних верстатів з дисковою пилою великого діаметру – мостового (а) та порталного (б) типів.
Позначено: 1 – візок для встановлення блоку; 2 – розпилюваний блок; 3 – алмазна дискова пила; 4 – захисний кожух пили; 5 – супорт; 6 – напрямна траверса порталу; 7 – пульт керування; 8 – міст; 9 – залізобетонні стінки-опори мосту; 10 – колони порталу; V – колова швидкість обертання пили (швидкість головного руху); S – робоча подача; S_1 – встановлювальне переміщення пили (а) або блоку (б) [14].

За принциповими структурними схемами розрізняють дискові розпилювальні верстати:

- з подачею каменю;
- з подачею інструменту;
- з різанням за подачею чи проти подачі (зустрічне різання);
- з розташуванням заготовки вище або нижче осі обертання дискової пили.

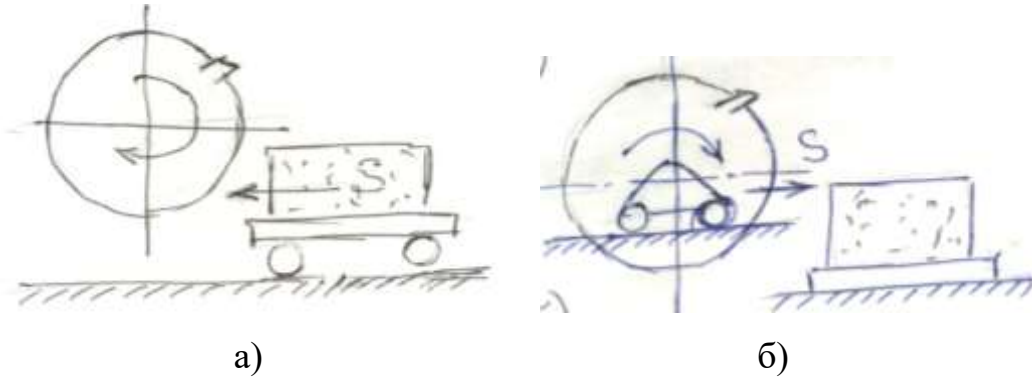


Рис. 4.24 Схеми компоновок розпилювальних верстатів:

а) – з подачею каменю; б) – з подачею пили.

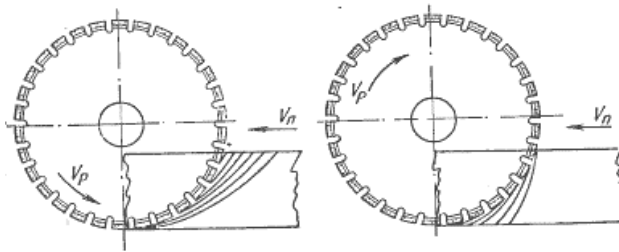


Рис. 4.25 Подача зустрічна і супутня.

На рис. 4.26 показані схеми різання з різним напрямком подачі та різним розташуванням блоку відносно осі пили.

Схема а) надійніша за схему б). У схемі б) рухомий вузол повинен бути масивним, щоб зменшити вібрації, які виникають при подачі обертаної пили до жорстко зафіксованого блоку. Вимога: автономність приводів обертання пили та механізмів подач візка, щоб забезпечувати їхнє незалежне настроювання.

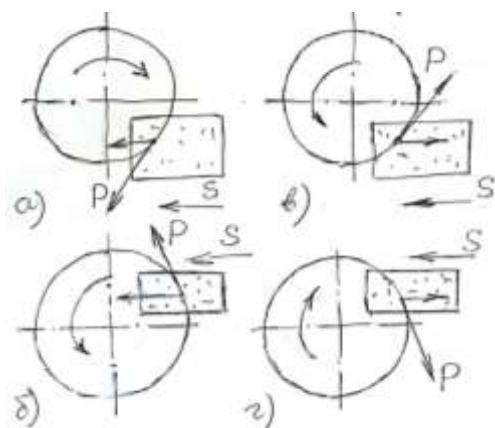


Рис. 4.26 Схеми різання

Перевага різання за подачею – хороші умови охолодження інструменту і те, що різучі леза не пошкоджуються, недолік – нерівномірність процесу різання через змінювання товщини зрізу від \max до 0 . Перевагою різання проти подачі є рівномірність за

рахунок поступового збільшення товщини зрізу та можливість підвищити стійкість дискових пил, недоліком є погіршення умов охолодження.

Схеми а), б): горизонтальна складова сили P за умови відповідної ваги рухомого вузла буде підтягувати до пили візок разом з блоком. За рахунок зазорів у механізмах дійсна подача перевищує задану, що може зумовити пригальмовування пили і навіть викликати поломку пили або заклинювання.

Схеми в), г): за зустрічного різання блок відривається від візка, намагається піднятися вгору, тож потребує жорсткого кріплення блоку до візка. Візок неможливо закріпити на рейках, виникають вібрації.

Більшість верстатів працює з різанням у напрямку подачі, бо високі швидкості та значна глибина різання зумовлюють особливе значення умов охолодження.

Оброблюваний камінь може знаходитися вище або нижче осі обертання пили.

За характером забезпечення подачі – позиційні й конвеєрні.

Позиційні мають рухомий стіл, який здійснює човникові рухи з блоком відносно пили з нерухомою віссю.

Конвеєрні верстати мають робочий стіл, що виконано як транспортер, який забезпечує безперервну подачу розпилюваних заготовок. Найпродуктивніше рішення, бо збільшує коефіцієнт використання верстата. Головна перевага конвеєрних верстатів – висока продуктивність завдяки безперервно-поточковому методу обробки. Недолік – складність обконтуровування за взаємно-перпендикулярними напрямками.

За компоновкою – три виконання: порталні, мостові, консольні.

Існує також ще низка конструктивних особливостей: кількість шпindelних головок, тип подачі стола, можливість повороту головок и т.д.

За характером забезпечення подачі – позиційні й конвеєрні.

Позиційні мають рухомий стіл, який здійснює човникові рухи з блоком відносно пили з нерухомою віссю.

Конвеєрні верстати мають робочий стіл, що виконано як транспортер, який забезпечує безперервну подачу розпилюваних заготовок. Найпродуктивніше рішення, бо збільшує коефіцієнт використання верстата. Головна перевага конвеєрних верстатів – висока продуктивність завдяки безперервно-поточковому методу обробки. Недолік – складність обконтуровування за взаємно-перпендикулярними напрямками.

За компоновкою – три виконання: порталні, мостові, консольні.

Існує також ще низка конструктивних особливостей: кількість шпindelних головок, тип подачі стола, можливість повороту головок и т. д.



Рис. 4.27 Типи компоновок дискових розпилювальних верстатів.

а) Портальний верстат (верстат портальної компоновки)

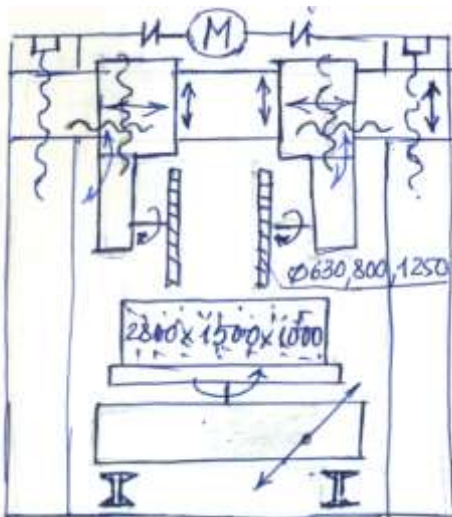


Рис. 4.28 Компонувальна схема портального верстату

Найважчі, найпотужніші, підвищеної жорсткості. Має станину у вигляді порталу. Можна використовувати дискові пили великого діаметра, оброблювати блоки з твердого каменю. Інструмент має лише поперечне переміщення. Робоча подача здійснюється рухом стола з каменем. Більшість портальних верстатів універсальні: мають можливість повороту шпиндельної головки і, відповідно, можливість виконувати вертикальні та горизонтальні різи та розташовані під кутом. Деталь встановлюють на поворотну плиту з фіксацією положення через 90°, що дає можливість виконувати взаємно перпенди-

кулярні різи. Виконують також фігурну обробку та шліфування фасонних поверхонь.

б) Мостовий верстат

Має міст, що рухається поздовжньо по рейках, розташованих на бетонних стінках. По напрямних моста рухається робоча головка з дисковою пилою й приводом різання та робочої подачі. Робочий стіл є нерухомим або має поперечну подачу. Значно

меншої потужності ніж порталні, але більш швидкісні (поздовжня подача вдвічі вища). Орієнтовані на розпилювання плит, а не блоків. Дисковий відрізний круг може повертатися,

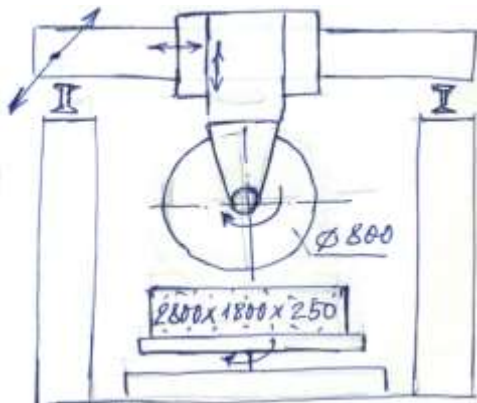


Рис. 4.29 Компонувальна схема мостового верстату

але вісь лишається горизонтальною. Стіл з плитою має можливість повороту з фіксацією положення через 90°.

в) Консольний верстат з однією стійкою.

Найпростіші конструктивно, компактні, малогабаритні. Продуктивність невелика, обмежена ширина оброблюваних заготовок. Розповсюджені малогабаритні моделі, частина яких є переносними. Можуть входити в автоматичні лінії. Завдяки тому, що вісь інструменту перпендикулярна поздовжній подачі,

можна обкантовувати плити необмеженої довжини. Великогабаритні використовують для обробки об'ємних заготовок (східці, бортові камені, деталі цоколя, тощо) з туфу, базальту і т.д., вони мають гідропривод подачі. В деяких моделях – пневмогідролічний привод (тиск повітря 0,5-0,6 МПа).

г) Конвеєрні верстати відрізняються наявністю конвеєра для подачі заготовок. За компоновкою можуть бути порталні, мостові чи консольні. Мають по кілька автономних шпиндельних головок (найчастіше 4 або 5) з можливістю руху, наприклад, по порталу для встановлення на потрібну ширину заготовки.

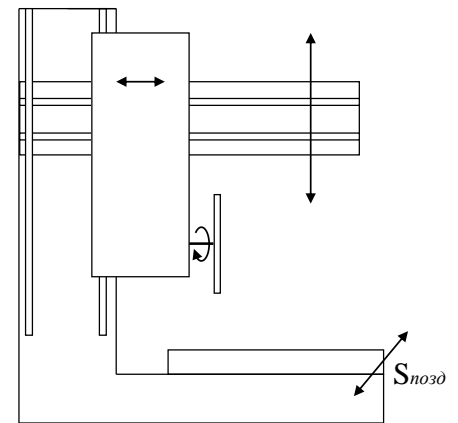


Рис. 4.30 Компонувальна схема одностійкового консольного верстату.

Типовий представник – СМР-059 для розпилювання заготовок з м'яких та середньої міцності порід природного каменю. Містить пластинчатий конвеєр з гідроприводом, який забезпечує безступінчасте регулювання швидкості подачі. На станині конвеєра – напрямні. Заготовки й готові плити встановлюються та знімаються з конвеєра спеціальним захватом.

Технічні параметри верстату СМР-004 для розпилювання мармуру: пила \varnothing 1250 мм, кількість пил – 20, швидкість подачі 0,1...1,5 м/хв, потужність 200 кВт, габарити блока 1200×1000×400 мм.

Приклади дискових верстатів

Портальні верстати

На рис. 4.31 показано однодисковий розпилювальний верстат моделі 277 (фірма „Карл Майер“).

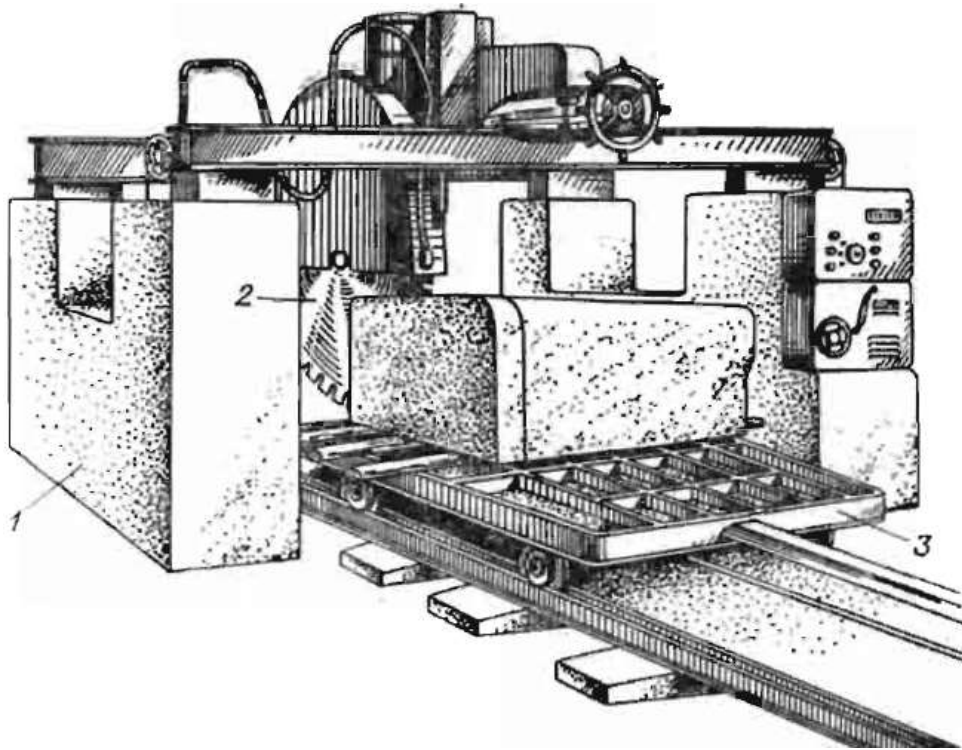


Рис. 4.31 Розпилювальний однодисковий верстат моделі 277 (фірма „Карл Майер“) [3].

Позначено: 1 – станина; 2 – дискова пила; 3 – візок.

Станина 1 являє собою портал з двох бетонних опорних стінок, на яких встановлено траверсу, по напрямних якої переміщується супорт з дисковою пилою 2. Супорт має вертикальні напрямні, якими переміщується різальна головка з дисковою пилою, що її встановлюють на глибину різання. Між опорними стінками знаходяться рейки, якими рухається візок 3 для подачі встановленого на ньому блоку. Привод візка здійснюється гідроциліндром. Привод головного руху розташовано на спеціальній люльці, що хитається: таким чином усувається передача вібрацій від двигуна до алмазного диску.

Фірмою „Карл Майер“ розроблені моделі 2500/2700Г та 3000Г спеціально для розпилювання граніту.

Узагальнені основні технічні показники: максимальні розміри блоку (3000-3500)×1500×(1000-1200) мм; діаметр дискової пили 2500-3000 мм; частота обертання

пили 210-270 об/хв; швидкість робочої подачі до 1,2 м/хв; потужність двигуна головного приводу 35-75 кВт; габарити верстату $l \times b \times h = 9000 \times 7000 \times 3600$ мм. Продуктивність по мармуру 2,5-2,8 м²/год., по граніту 1,1 м²/год.

Основні недоліки: обмежена глибина різання, значна енергоємність.

Обкантовувально-фрезерні верстати призначені для обкантовування плит з граніту і мармуру, зняття фасок, виконання простих профілів архітектурно-будівельних виробів.

На рис. 4.32 показано загальний вигляд двоцильного обкантовувально-фрезерного порталного верстату мод. **МП-600** (фірма „Карл Майер“).

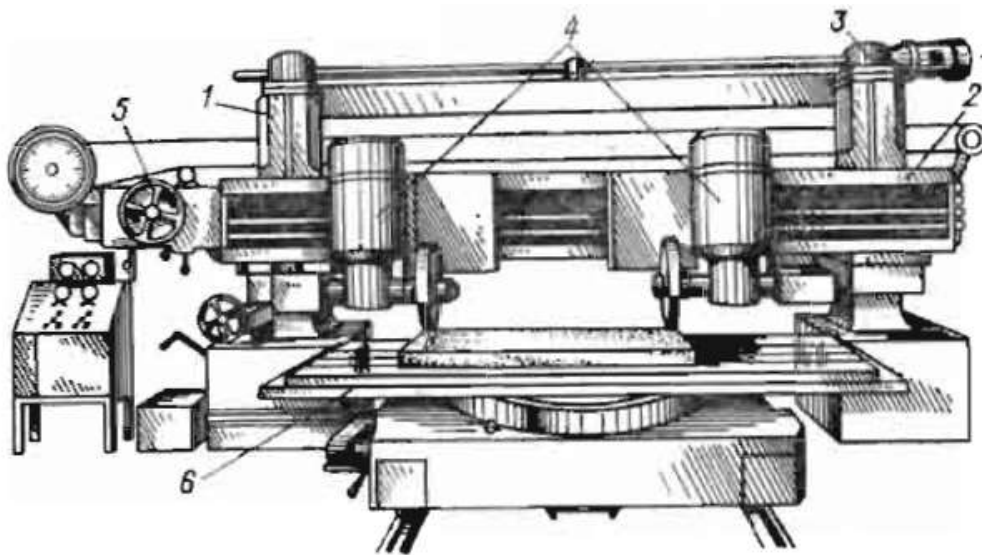


Рис. 4.32 Окантовочно-фрезерний порталний верстат мод. МП-600 (фірма „Карл Майер“) [3]. Позначено: 1 – портал; 2 – траверса; 3 – механізм переміщення траверси; 4 – супорти; 5 – механізм переміщення супортів; 6 – поворотний стіл.

Портал 1 утворено двома відлитими опорами (стойками) коробчастого перерізу та траверсою, яка їх поєднує і переміщується вертикально по напрямних ходовими гвинтами з метою використання дискових пил різного діаметру та встановлення глибини різання. Верстат оснащений двома супортами із шпинделями з різальними головками, які рухаються вздовж траверси та можуть виконувати різні будь-де в межах її довжини на довільних відстанях один від одного (для наступного різання інструмент перевстановлюють відносно заготовки переміщенням супортів). Приводи переміщення різальних головок є самостійними і виконані як мотор-редуктори. На візку розташовано поворотний стіл, а на ньому закріплено плиту, на якій встановлюють оброблювану заготовку. Знизу плити

передбачено гідроциліндр, що піднімає плиту над рамою візка і в цьому положенні плита легко повертається (зокрема, й рукою) на будь-який кут. Візок має гідравлічний привод з двома гідроциліндрами і рухається зворотно-поступально по рейках за допомогою катків. З метою зменшення металоємності верстата в якості опор для стоек застосовано бетонні тумби.

Верстат фрезерний порталний **СМР-014** з двома відрізними кругами, кінематична схема якого показана на рис. 4.34, має аналогічну до мод. МП-600 (фірма „Карл Майер“) конструкцію. Передбачено виконання косих розрізів при повороті шпindelної головки відносно супорту в межах 0-45° та горизонтальних розрізів при повороті на 90°.

Технічна характеристика: максимальні розміри оброблюваного блоку $L \times B \times H = 2800 \times 1500 \times (400 \dots 1000)$ мм; розміри робочої поверхні стола 1500×2700 мм; найбільший хід стола 4000 мм, траверси 1230 мм, супорта по траверсі 2400 мм, шпindelної головки по напрямних супорта (вертикальне переміщення) 380 мм.; діаметр відрізного круга – 630 мм, 1250 мм; швидкість відрізного круга залежно від його діаметра 21,2; 33,6; 42 м/с; поворот стола 180°; максимальна глибина різання 400 мм або 1000 мм; потужність приводу обертання відрізного круга 30 кВт, загальна потужність 76,5 кВт; витрати води 60 л/хв. Продуктивність по граніту 1,2-1,8 м²/год.

Мостові верстати

Принципова компоувальна схема мостового фрезерно-обкантовувального верстату мод. **СМР-015** (універсального) наведена на рис. 4.33, а кінематична схема – на рис. 4.35.

Призначення: обкантовування, розпилювання, в окремих випадках – фасонна обробка бокових граней, вирізування пазів у будівельних виробках з каменю м'яких та середньої твердості порід (вапняк, мармур, граніт).

Верстат має вертикальну дискову пилу (за потребою – встановлену на поворотній головці) та горизонтальну для виконання відповідних різів.

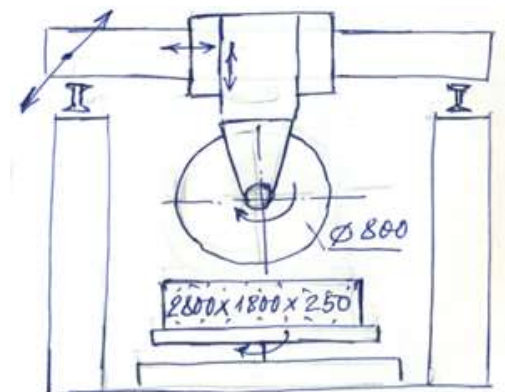


Рис. 4.33 Мостовий фрезерно-обкантовувальний верстат моделі СМР-015.

Позначено: 1 – міст; 2 – рейки; 3 – каретка; 4 – шпindelна головка; 5 – алмазний круг $\varnothing 800$ мм; 6 – заготовка $2800 \times 1800 \times 250$ мм

Стіл має можливість фіксованого повороту на 90°, що дозволяє отримувати прямокутні вироби.

Міст зварений з прямокутних балок, зверху розташовані напрямні для каретки. Міст рухається за допомогою 4-ох катків по рейках, що розташовані на бетонних стійках.

Каретка має гідравлічний привод подачі. У головці на горизонтальному валу закріплено відрізний круг \varnothing 800 мм. Круг може повертатися, але ось його завжди лишається горизонтальною. Вертикальна головка має хід по вертикалі 325 мм.

Таблиця 4.1

Швидкості різання при обкантовуванні
з умови мінімальних витрат алмазного інструменту [34]

Породи каменів (за міцністю)	Швидкість, м/с
Туфи, вапняки, черепашники, травертини, піщаники	45-60
Мармури, мармуризовані вапняки, доломіти	35-50
Габро, лабрадорити, базальти, граніти зниженої міцності	25-35
Граніти, кварцити	20-25

Вплив на продуктивність обкантовувального верстату швидкості подачі та глибини різання практично рівнозначний [34], тобто при зменшенні подачі збільшують глибину різання: для забезпечення постійного рівня продуктивності та скорочення часу на виконання деяких допоміжних операцій обирають максимально можливу для даної міцності каменю глибину різання (але це може зумовити засалювання круга).

Таблиця 4.2

Режими обробки алмазними циліндричними фрезами [34]

Оброблюваний матеріал	Параметри режиму різання			
	Швидкість, м/с	Глибина, мм	Швидкість робочої подачі, м/хв	Витрати води, л/хв
Граніт	20-30	8-12	0,8-1,2	30-50
Туф, вапняк, доломіт	25-35	15-20	1,2-1,5	40-60
Мармур	40-50	15-20	1,0-1,3	35-50
Декоративний бетон	25-35	5-15	1,0-1,5	30-50

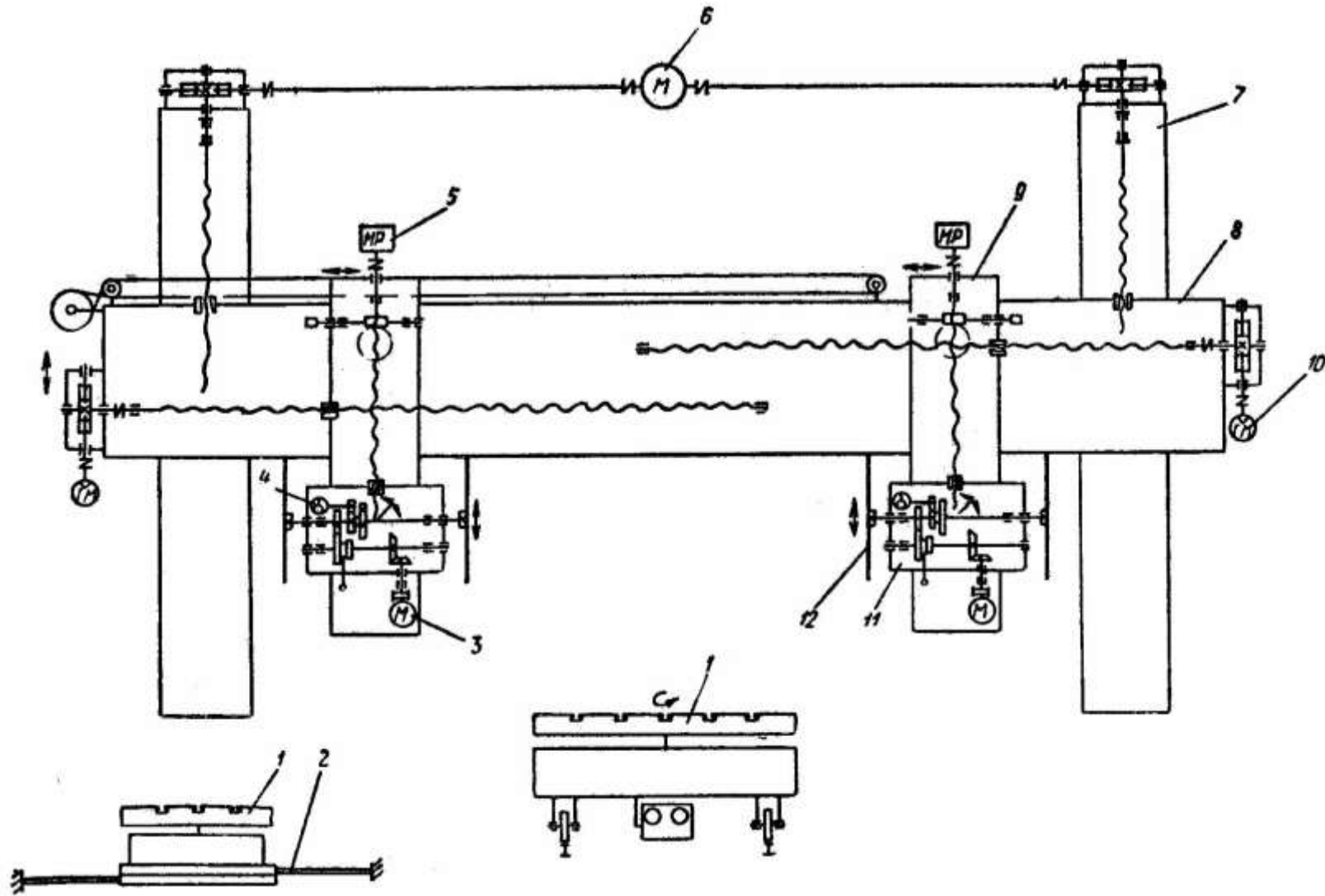


Рис. 4.34 Кінематична схема розпилювального алмазно-дискового верстату моделі SMP-014 [23]. Позначено: 1 – стіл; 2 – гідроциліндри; 3, 6 – електродвигун; 4 – насос; 5 – мотор-редуктор; 7 – стойка; 8 – траверса; 9 – супорт; 10 – гідромотор; 11 – головка шпиндельна; 12 – диск відрізний.

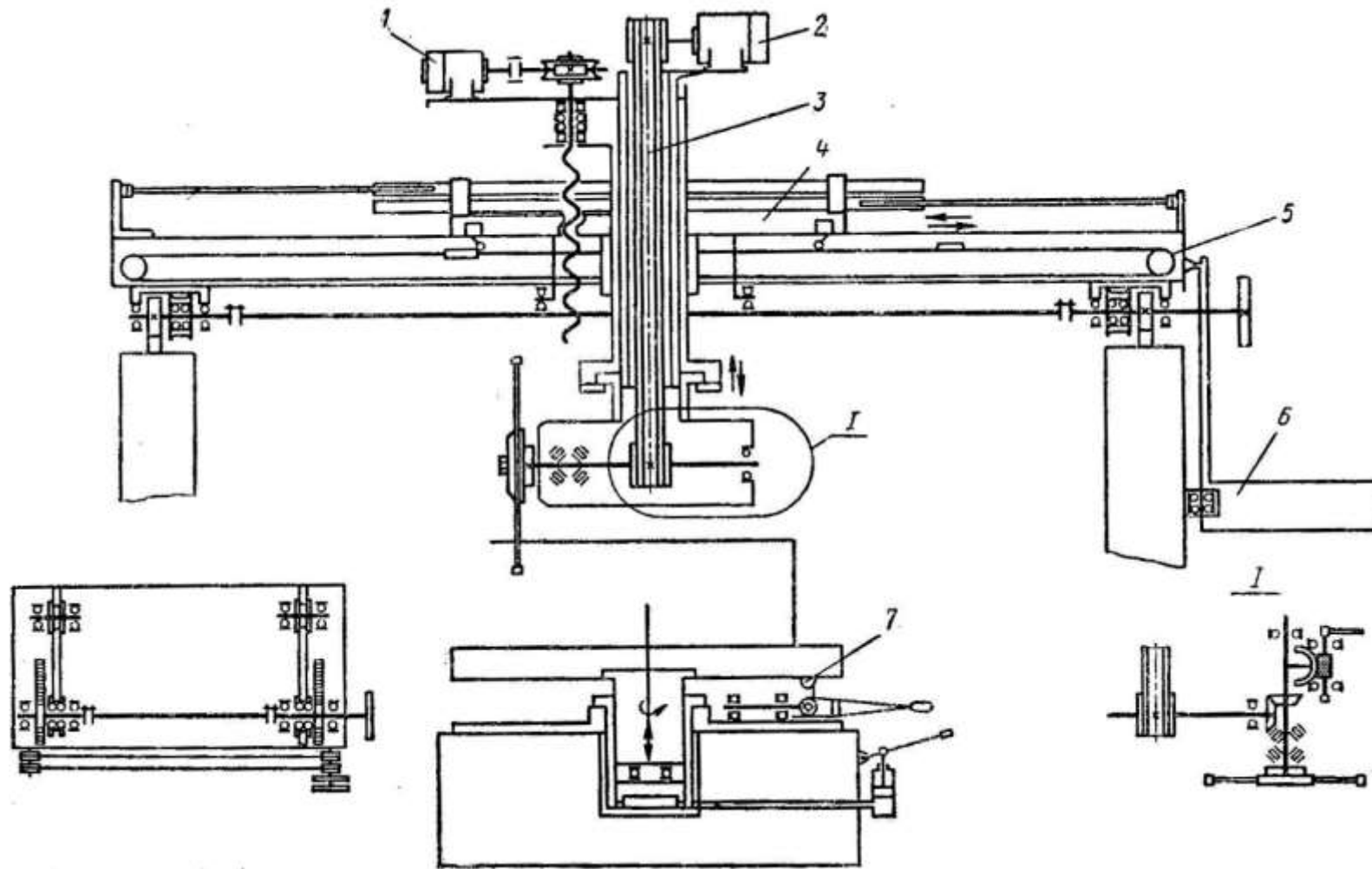


Рис. 4.35 Кінематична схема мостового фрезерно-обкантиувального верстату моделі СМР-015.
Позначено: 1, 2 – електродвигуни; 3 – головка ріжуча вертикальна; 4 – міст; 5 – механізм встановлення кінцевих вимикачів; 6 – площадка керування; 7 – стіл [23].

На рис. 4.36 показано однодискові розпилювально-обкантовочні мостові верстати виробництва компанії „Терцаго“ (Італія).



а)



б)

Рис. 4.36 Однодискові розпилювально-окантовочні мостові верстати:

а) – <http://www.terzago.it/en/prodotto/omega-cn/> ;

б) – <http://www.terzago.it/en/prodotto/rapida/>

Обкантовувальний мостовий верстат типу **Моноблок** (серія **YTQQ**, компанії Wanlong, Китай) призначений для розрізування невеликих плит (слябів) з мармуру, граніту, пісковика, вапняку. Має довгий міст, поворотний на 360° стіл. Фрезерна головка може повертатися в діапазоні 0-90° (рис. 4.37 , а).

Передбачено плавне керування швидкістю різання каменю шляхом використання частотного інвертора.



а)

Рис. 4.37 Обкантовувальний верстат моноблочного типу YTQQ-500 для розрізування плит. Позначено а) – положення головки, яку повернуто на 90°.

(http://www.wanlongstone.ru/stone-cutting-machine/2018_8.html).

Технічні параметри: максимальний діаметр пили – $\varnothing 500$ мм; потужність двигуна приводу головного руху – 15 кВт; кут повороту пили – 90° ; діапазон повороту стола – $0-85^\circ$; максимальний розмір обробки $3000 \times 1800 \times 130$ мм; споживання води $4 \text{ м}^3/\text{год}$; габарити верстата $l \times b \times h = 5800 \times 2700 \times 2500$ мм; вага 6 т.

На фрезерно-обкантирувальних верстатах з використанням алмазних відрізних кругів, циліндричних та тарілчастих фрез виконують також фрезерування та профілювання. Вказані верстати мають поворотний стіл і з його використанням виконують повздовжні та поперечні пази: вузькі при використанні циліндричних фрез. Поворотна шпиндельна головка дає можливість оброблювати нахилені пази, рельєфні (ребристі) поверхні, фаски (відрізним кругом або тарілчастою фрезою). Комбінація основної головки, яка виконує вертикальний пропил, та поворотної, яка виконує горизонтальний пропил, дозволяє підрізати уступи, вибирати кути. Циліндричними фрезами оброблюють криволінійні поверхні. На багатьох обкантирувальних верстатах передбачена автоматизована обробка за копіром. Криволінійні профілі отримують також при використанні алмазних профілювальних кругів периферійного типу. Швидкості різання залежно від породи каменю становлять $20-50 \text{ м/с}$, подачі до $1,5 \text{ м/хв}$.

Багатодискові розпилювальні верстати

Дозволяють збільшити висоту розпилювання при використанні дисків середніх розмірів і забезпечують високу продуктивність.

Розрізняють одновальні, багатовальні, ортогональні.

Багатодискові одновальні призначені для розпилювання малогабаритних блоків і брусів на плити. Характерна особливість – наявність подовженого робочого валу з комплектом встановлених на ньому дискових пил.

В залежності від кріплення робочого валу в опорах кочення: порталні – кріплення з двох боків та консольні – кріплення з одного боку. Конструктивно прості і з низькою металоємністю. Недолік: обмежена глибина різки і висока енергоємність.

Вал багатодискових одновальних верстатів розташовано над робочою поверхнею стола або конвеєра, тобто використовується нижня частина дискових пил, що забезпечує

покращення умов охолодження та підвищення надійності базування заготовок за рахунок притискання їх пилами в процесі різання.

Більшість багатодискових одновальних верстатів призначена для розпилювання каменю низької та середньої міцності, бо розпилювання здійснюється одразу на всю висоту за один прохід. Винятком є верстат ММ-1200, конвеєр якого має реверсивний хід (вперед – назад), а виконавчий орган – вертикальне встановлювальне переміщення. На верстаті можна розпилювати заготовки за один прохід, а у разі розпилювання міцної породи працювати багатопрохідно із періодичним пониженням дискових пил та човниковим зворотно-поступальним рухом конвеєра із заготовками.

На рис. 4.38 показано загальний вигляд **багатодискового консольно-конвеєрного одновального** верстата **СМР-056А** (консольна конвеєрна компоновка), призначеного для розпилювання на плити заготовок з мармуру, туфу, вапняку та інших каменів м'яких та середньої твердості (кінематичну схему наведено в [23]). На пильний вал встановлюються відрізнi диски $\varnothing 1250$ мм (до 7 пил), що відповідають заданій товщині плитки: 20 або 30 мм. При розпилюванні плит товщиною 20 мм між дисками встановлюють змінні втулки, при товщині 30 мм додатково встановлюють ще дистанційні диски.

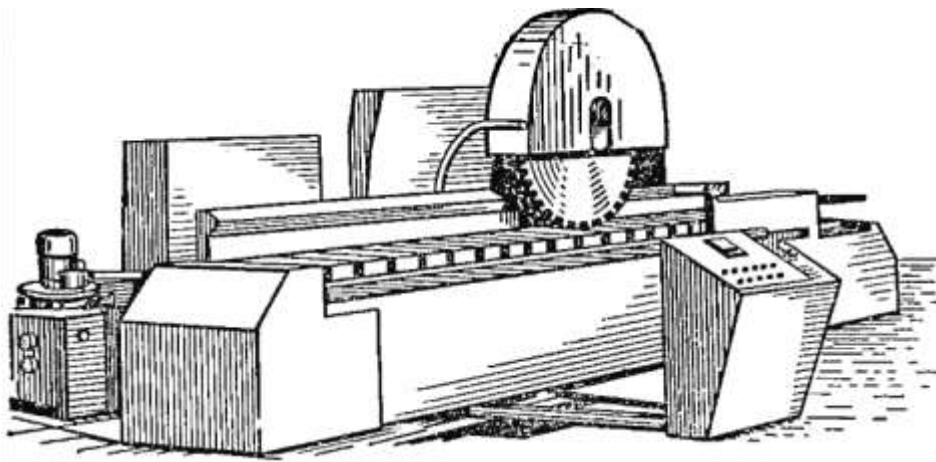


Рис. 4.38 Багатодисковий одновальний семидисковий верстат СМР-056А [23].

Для нового набору відрізнних алмазних дисків перед роботою здійснюють оголення алмазних зернин шляхом розпилювання м'яких абразивних матеріалів, наприклад, туфу. Через деякий час експлуатації, який залежить від міцності оброблюваного матеріалу, алмазні зернини тупляться і процес різання вимагає збільшення потужності. В цьому

разі треба припинити роботу й знову здійснити оголення алмазних зернин. Швидкість різання 38,5 м/с. Обертіві відрізні алмазні диски огорожені кожухом, на якому знаходиться система охолодження: витрати води на один відрізний диск 20-25 л/хв.

Блок-заготовка встановлюється на рольганг і ним скеровується та подається на пластинчатий конвеєр, а потім конвеєром у зону різання. Безступінчасто регульована подача (до 2,5 м/хв.) здійснюється гідроприводом. Продуктивність становить до 85 м²/год. для туфу та до 18 м²/год. для мармуру.

На валу можуть встановлюватися пили різного діаметру.



Рис. 4.39 Фрагмент пильного валу з дисками



На рис. 4.39 показано **мостовий багатодисковий оновальний** верстат.

Реалізує багатоходову багатодискову схему, яка є найбільш ефективною й продуктивною схемою різання граніту.

При багатодисковому пилянні використовують набір дисків різного діаметру. Наприклад, для верстату з максимальним діаметром диску 2200 мм це Ø 530 мм, Ø 740 мм, Ø 950 мм, Ø 1160 мм, Ø 1370 мм, Ø 1582 мм, Ø 1782 мм, Ø 1982 мм, Ø 2182 мм. Кожен диск пропилює свою глибину, після проходження диски переміщуються на крок, що дорівнює товщині плити, й кожен диск потрапляє на різ попереднього диску.

За рахунок збільшення діаметра диска зростає загальна глибина пропилу.

Кількість проходів визначається співвідношенням граничної глибини пропила кожного диску до величини заглиблення за один прохід. Багатоходовість дозволяє знизити глибину пропилу, підвищити ефективність різання і забезпечити умови самозагострення алмазного інструменту, тобто збільшити строк експлуатації.

На валу встановлено дискові алмазні (сегментні) пили різних діаметрів, але передбачено використання верстату для розпилювання однією пилою. Система підйому головної головки може бути гвинтовою або гідравлічною (за бажанням замовника).

Верба І.І.
Обладнання для обробки природного каменю

Мостова балка верстата переміщується у поперечному напрямку, тому використання візку подачі блоків не є обов'язковим. Верстат має ЧПК, керування на основі логічного контролера. Забезпечує високу якість отримуваних плит, що виключає необхідність додаткової калібрувальної обробки.



Зразок точного
розпилювання

Рис. 4.40 Мостовий багатодисковий каменерізний верстат серії QSQ (Wanlong, Китай).

Таблиця 4.3

Технічні параметри верстатів серії QSQ

Модель		QSQ-2200	QSQ-2500	QSQ-3000
Максимальний діаметр пили	мм	2200	2500	3000
Максимальна кількість пил	шт.	9	9	5
Рекомендовані комбінації пил	мм	2200/2000/1800/ 1600/1400/1200/ 1000/800/600	2500/2200/2000/ 1800/1600/1400/ 1200/1000/800/	3000/2500/ 2000/1500/ 1000
Потужність двигуна приводу головного руху	кВт	45/55	45/55	65
Максимальний розмір обробки	мм	3600×2100×950	3300×2100×1100	3800×2100×1350
Споживання води	м ³ /год	30	30	30
Габарити верстата $l \times b \times h$	мм	7500×4000×5500	7500×4000×5500	8500×4000×6100
Маса верстата	тон	12	12	16

В приводі головного руху використано електродвигун компанії SIEMENS, який працює в режимі енергозбереження, програмований контролер та перетворювач частоти від компанії Panasonic та інші імпортовані електронні компоненти, що забезпечує надійність та зручність експлуатації. Для осей X, Y, Z застосовано енкодери з метою підвищення точності позиціонування (рис. 4.41 – б, в, г).

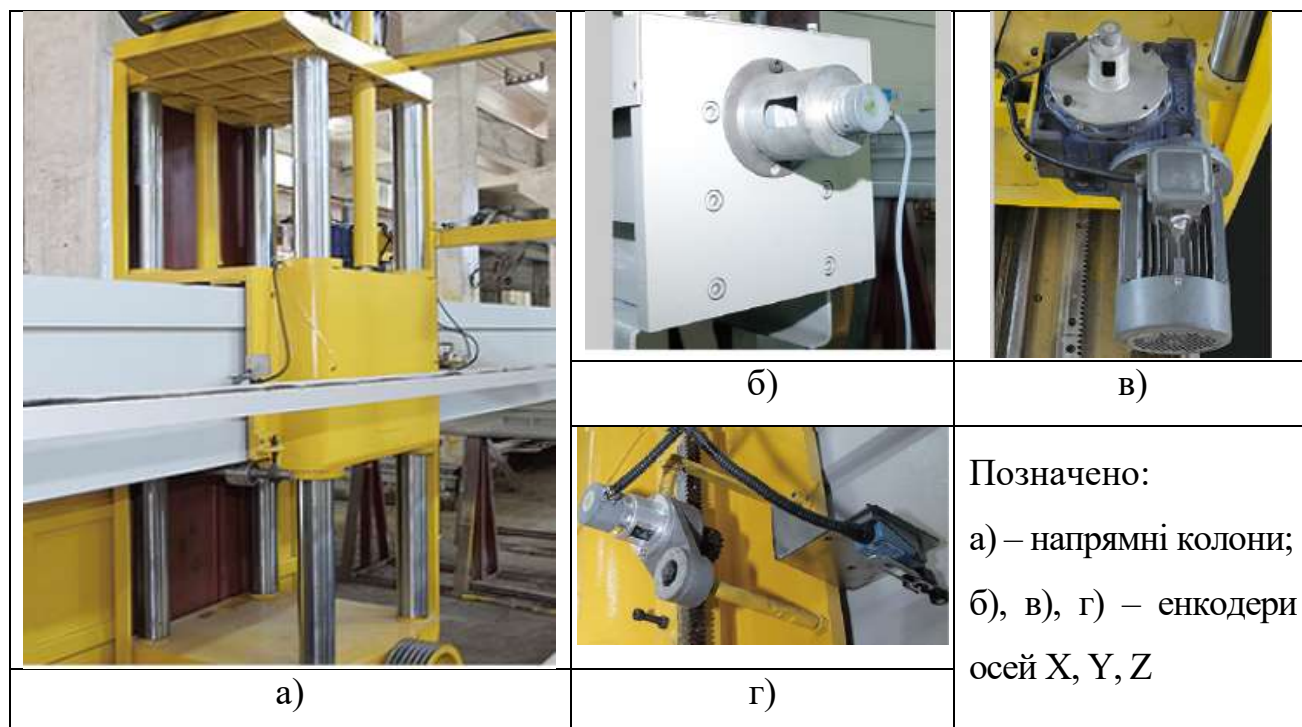


Рис. 4.41 Мостовий багатодисковий каменерізний верстат серії QSQ (Wanlong, Китай) – компоненти.



Рис. 4.42 Каменерізні верстати серії QSQ в умовах експлуатації (Xiamen Wanli Stone Co.).

Гідравлічна система здійснює вертикальне переміщення головки верстата по чотирьом хромованим напрямним колонам з гарантованим малим люфтом (рис. 4.41, а). Багатошарове ущільнення всередині вузла забезпечує захист від води, пилу й мастила та збільшує строк експлуатації.

На рис. 4.43 показано багатопильний верстат PW5TK-14.0-1600 для розпилювання дисковою пилою $\varnothing 1600$ мм кам'яних блоків габаритів $3500 \times 1800 \times 650$ мм. Максимально можна встановити 5 пил, які розділюють кільцями. Двигун потужністю 55 кВт оснащено інвертором і він забезпечує плавне регулювання обертів пил та необхідний закон пуску й гальмування.

Основний елемент – рама із закріпленою на ній напрямною, по якій рухається супорт із мотор-редуктором та дисковими пилами (головний рух). Переміщення блоку на запрограмовану товщину слябу здійснюють візком, який рухається рейками (у ручному чи автоматичному циклі, який обирають на панелі оператора). Передбачено контроль та регулювання (за допомогою інвертору)

як робочих переміщень, так і встановлювальних, зокрема плавний пуск, гальмування, попередження наслідків короткого замикання, перевантажень, коливань напруги у мережі. У автоматичному циклі передбачено можливість програмування розпилювання плит різної ширини (по 5 штук, повторюється до 99 разів).

На рис. 4.44 показано ще один багатодисковий верстат для розкрою блоків, цього разу порталний.



Рис. 4.43 Багатопильний верстат для обробки каменю PW5TK-14.0-1600



Рис. 4.44 Портальний багатодисковий верстат для розкрою блоків мод. DYZJ 220 (компанія Huaxing, Китай).– [\[https://news.stanki.ru/\]](https://news.stanki.ru/).

Верстат призначено для покрокового розпилювання блоків каменів будь-якої твердості на сляби довільної ширини, а при використанні одного великого диску – для пасирування блоків.

Технічні характеристики: максимальний діаметр диску – 2200 мм, кількість дисків – 9; довжина мосту 7000 мм, хід по осях X, Y, Z відповідно 3500, 1100, 2000 мм; потужність шпинделя 45 кВт, потужність двигунів по осях – 3 кВт; витрати води 20 л/хв.



Рис. 4.45 Модульний розпилювальний центр PEDRINI M594

Модульний центр фірми PEDRINI (Італія) з вертикальними дисками \varnothing 1700 мм у кількості до 56 шт. Продуктивність за 24 год – до 630 м² граніту у вигляді смуг та плит.

Кілька варіацій виконання має порталний багатопильний верстат DT100 [<http://oborudovanie.contact-ua.com.ua/ru/component/zoo/item/mnogopil-dlja-tolstyh-sljabov-bordjurov-dt100-obnovlennaja-model>] для розпилювання невеликих блоків на товсті сляби, бордюрів тощо. Ці сляби в подальшому можуть, наприклад, бути розколоті для виробництва пиляно-колотої брущатки (верх пиляний, бік – колотий) або сляби розпилюють на цьому ж таки верстаті на „олівці“ і розколюють на брущатку (верх колотий, бічні грані пиляні).

Перше виконання верстату рис. 4.46, а) має один довгий ведучий вал та один ведучий двигуні одночасно відбувається розпилювання 16-ма сегментними алмазними дисковими пилами \varnothing 1200 мм. Друге виконання має три незалежних ведучих електродвигуни та три коротких незалежних ведучих вали з 6-ма алмазними сегментними пилами \varnothing 1200 мм на кожному.



а)



б)

Рис. 4.46 Портальний багатопильний верстат мод. DT100 (варіації виконання)

Розміри робочого столу 1700×1200 мм, максимальна довжина різання 2500 мм, максимальний вертикальний хід 600 мм. Можливий діаметр пил 1000-1600 мм.

Така компоновка дозволяє в процесі розпилювання ефективно обминати тріщини та складні дефекти в блоці.

Multibreton DXL, автоматична поперечна пила для мармуру та гранітних смуг, представлена на рис. 4.47, має до дванадцяти інструментальних шпинделів. Машина може розпилювати одну смугу або одночасно дві смуги, навіть різної довжини (максимальна довжина 1500 мм).



Рис. 4.47 Верстат для поперечного дискового розпилювання Multibreton DXL

[<https://breton-stonemachinery.blogspot.com/2014/09/paragon-new-multiwire-machine-designed.html>]

Верстат має порталну компоновку. На порталі виконано напрямні, по яких у масляній ванні ковзають чавунні шпинделі. Положення кожного шпинделя регулюється окремо (послідовно), але передбачено варіант спільного одночасного регулювання. Положення блокують гідравлічним механізмом.

Різання двох смуг виконується послідовно, налаштування спільне (витримується певна відстань між торцями смуг).



Рис. 4.48 Інструментальні шпинделі

Цикл різання (рис. 4.49) повністю автоматизований. Він полягає а наступному.

1. Мармурова або гранітна смуга рухається вперед конвеєром до зупинки за пневматичним упором.
2. Рухомий пристрій-вирівнювач, який розташовано на передній частині верстату, забезпечує встановлення смуги у позицію різання.
3. Виконується розріз при русі шпиндельної бабки ортогонально до конвеєрної стрічки.

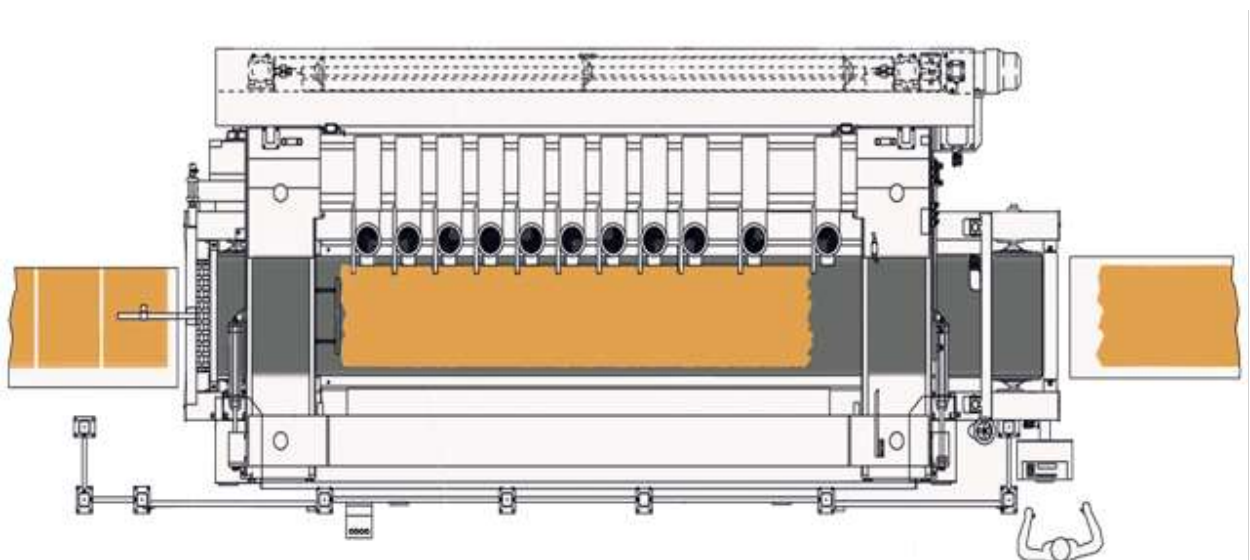


Рис. 4.49 Цикл різання на верстаті Multibreton DXL

Після виконання розрізу пилки піднімаються і повертаються у вихідне положення, а смуга, яку розрізано на плити, зміщується за межі робочої зони. Верстат має систему подачі води до кожного шпинделя.

Передбачена можливість встановлення лазерного блоку, який здійснює оптичне трасування з метою відслідковування дефектів поверхні смуги. Трасування здійснюється при переміщенні вручну вздовж роликового конвеєра лазерного датчика-відслідковувача (рис. 4.50). Машина враховує виконувани замовлення (згідно з встановленою програмою) та автоматично обминає дефектні ділянки.



Рис. 4.50 Датчик-відслідковувач

У верстаті застосовано ПК з операційною системою Windows, програмування на кольоровому сенсорному екрані монітора (встановлено на підвісній консолі).

Багатовальні дискові верстати можуть мати кілька автономних, паралельно розташованих робочих валів з інструментом, розташованим таким чином, що кожна дискова пила першого вала знаходиться в одній площині з дисковими пилами інших валів. Оснащені комплектами дискових пил до $\varnothing 1400$ мм.

Залежно від схеми розташування виконавчих органів – 3 типи верстатів:

1. Робочі вали розташовані на одному рівні з поступовим збільшенням діаметру пил кожного наступного валу (рис. 4.51).
2. З поступовим пониженням рівня валів, на яких встановлені пили одного діаметра.
3. Два робочі вали розташовані один понад одним в одній площині (двоярусні верстати).

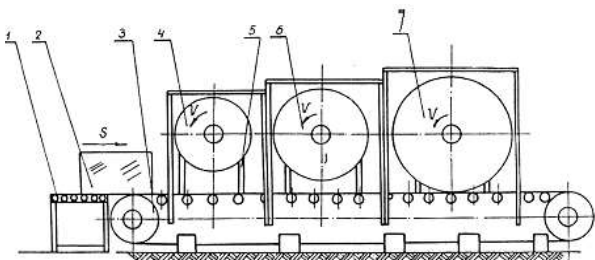


Рис. 4.51 Розпилювання за технологією „лисячий хвіст“ [14]

На рис. 4.51 показано розпилювання за досить рідкісною технологією „лисячий хвіст“. Позначено: 1-подаючий рольганг для подачі блоків під розпилювання; 2 – розпилюваний блок; 3 – технологічний конвеєр для переміщення блоків відносно дискових пил; 4, 6, 7 – алмазні пили із зростаючими діаметрами; 5 –

корпус. Технологія забезпечує високу продуктивність, можливість повної автоматизації процесу і просте переналагодження на обробку плит різних товщин та розмірів. Недоліком є необхідність у нестандартних високовартісних відрізних пилах однакової товщини.

В цілому верстати першого типу забезпечують деяке зниження енергоємності і підвищення продуктивності, другого типу – створення безперервно-поточного розпилювання міцних порід, третього – можливість розпилювання заготовок значної висоти за обмеження діаметра пил. Забезпечується розпилювання блоків висотою до 1 м. Умова: безперервність лінії різання, співпадіння верхнього й нижнього пропилів. Гарантується зміщенням центрів встановлення пил у горизонтальній площині.

Залежно від особливостей кріплення робочого валу розрізняють порталні (СМР-017) та консольні верстати. Привод головного руху аналогічний до одновальних верстатів. Привод подачі у більшості верстатів конвеєрний, лише іноді позиційний (СМР-017).

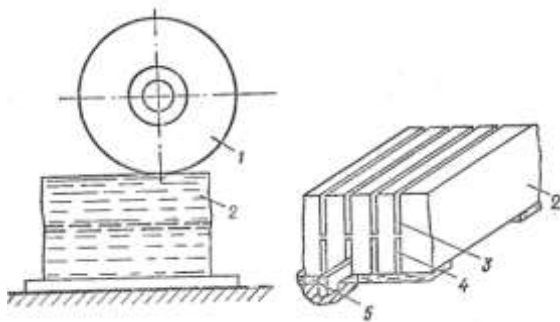


Рис. 4.52 Схеми розпилювання блоку зустрічними пропилами.
Позначено: 1 – дискова пила; 2 – розпилюваний блок; 3 – верхні пропили; 4 – нижні пропили; 5 – напрямна смуга.

Найрозповсюдженішими є верстати з розташуванням робочих валів на одному рівні. Приклад – верстат СЦМ 60/3 (рис.4. 53).

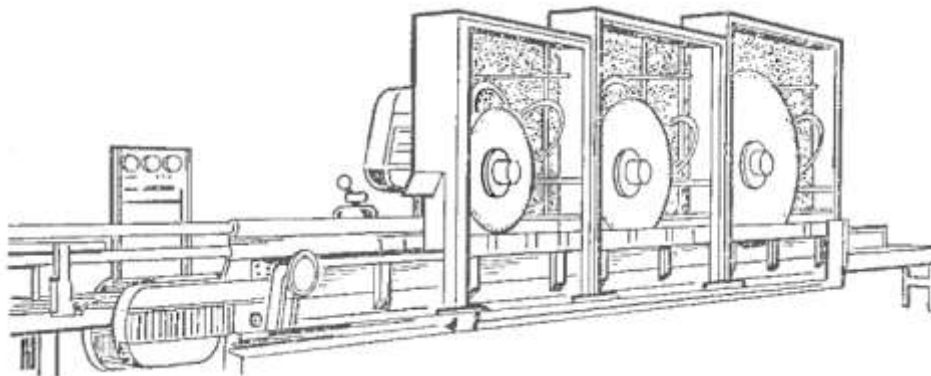


Рис. 4.53 Багатовальний дисковий верстат СЦМ 60/3.

Область застосування – розрізування заготовок-брусів обмеженої ширини з каменів середньої й низької міцності на плити у складі технологічних ліній з ортогональним верстатом на першій операції (підготовка брусів із блоків).

Верстат складається із станини, трьох консольних валів з дисковими пилами, стрічкового конвеєра та системи охолодження. Кожний вал змонтовано у супорті і він

Верба І.І.
Обладнання для обробки природного каменю

має автономний електропривод. Супорти можуть рухатись у вертикальних напрямних станини – з метою експлуатації пил різного діаметра та їхнього ступінчастого розташування. Швидкість подачі плавно регулюється варіатором. Заготовка притискається до роликів напрямних, які змонтовано вздовж стрічки.

Деякі технічні характеристики:

Максимальні розміри розпилюваного блоку, L×B×H – 2000×200×600 мм. Діаметри пил на валах відповідно 750, 900, 1200 мм. Швидкість робочої подачі 0-2 мм/хв. Потужність двигуна головного руху 150 кВт. Габарити верстата L× B×H – 7500×1500×2300 мм. Маса верстата 7 т.

Верстат **двоюрисний** алмазно-дисковий **СМР-017** призначений для розпилювання на плити блоків мармуру та інших порід м'яких і середньої міцності.

Верстат містить два вали, на кожному з яких встановлено і закріплено фланцями по 4 алмазних дискових фрези (відрізних круги). Верхній та нижній вали конструктивно однакові, відрізняються розмірами. Привод валів здійснюється від електродвигунів (потужність 110 кВт) через клинопасову передачу. Камінь, що підлягає розпилюванню, встановлюють на візок, який здійснює подачу блока до пил. Механізм подачі візка містить два плунжерні гідроциліндри (діаметр плунжерів 100 мм) для робочої подачі та два для зворотного ходу, що їх закріплено на візку. Візок має котки, що є опорами котка і використовується для переміщення. З метою підтримки поздовжніх балок візка й попередження згину під дією маси блоку застосовано рольганг-раму, яка складається з окремих зварених балок. Передбачено подачу води (280 л/хв) на диски та пропили: струминним реле фіксується наявність води у магістралях і надходить сигнал на вмикання обертання дискових відрізних кругів.

Деякі технічні параметри:

Розміри заготовки (максимальні): 2000×1300×850 мм, маса блоку 6000 кг. Кількість плит, які одночасно вирізують – три, товщина плит 400-1400 мм. Інструмент – алмазний сегментний відрізний круг Ø 1400 мм.

Швидкість різання 31 м/с; швидкість робочої подачі, яка є безступінчасто регульованою, 0,1-0,5 м/хв; швидкість зворотного ходу – 1.5 м/хв; хід стола 4000 мм. Продуктивність – 60 м²/год.

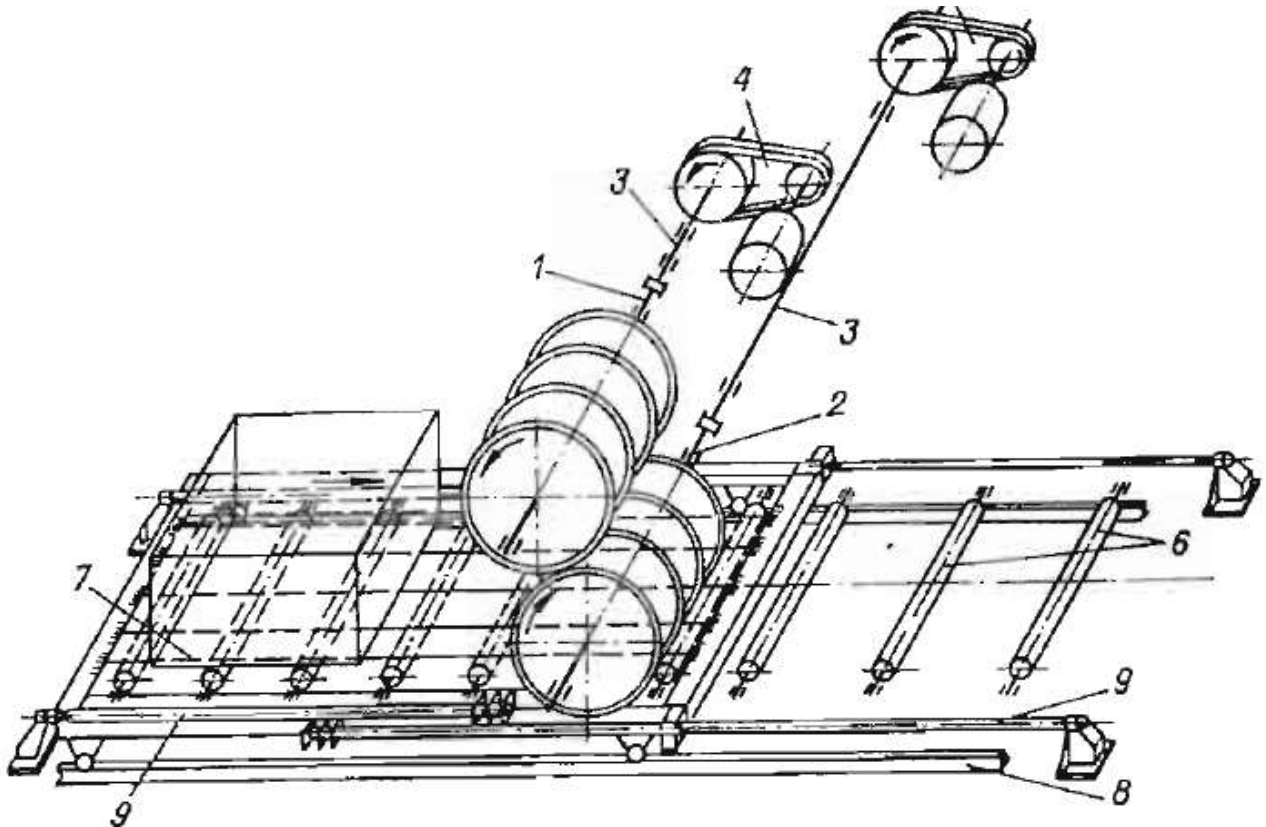


Рис 4.54 Кінематична схема розпилювального багатодискового двовального верстату мод.СМР-017. Позначено: 1 – верхній пильний вал; 2 – нижній пильний вал; 3 – проміжний вал; 4 – привод верхнього валу; 5 – привод нижнього валу; 6 – рольганг; 7 – візок; 8 – рейковий шлях; 9 – гідроциліндри поздовжньої подачі візка [23].

Габаритні розміри верстата $l \times b \times h = 12700 \times 6230 \times 2870$ мм, маса 19200 кг

Ортогональний верстат (рис. 4.55) – наймолодший представник дискових розпилювальних верстатів (промислове впровадження з 1966 р., фірма „Тема“, Італія). Виконавчий орган має два взаємно перпендикулярних вали: горизонтальний з однією чи кількома вертикальними пилами (відрізними) та вертикальний з однією горизонтальною пилою (підрізною). Підрізну пилу встановлено без виходу кріпильного кінця пильного валу щоб була можливість здійснювати підрізування по всій площині. Застосовують для випилювання з великих блоків плит обмеженої ширини (не перевищує 400 мм). Згідно з ГОСТ 30081-93 (Межгосударственный стандарт. Станки камнераспиловочные) кількість пил 2-33 з діаметрами вертикальних 1000-1600 мм, горизонтальних – 300-600 мм. Швидкість різання 20-65 м/с, швидкість подачі 13 м/хв.

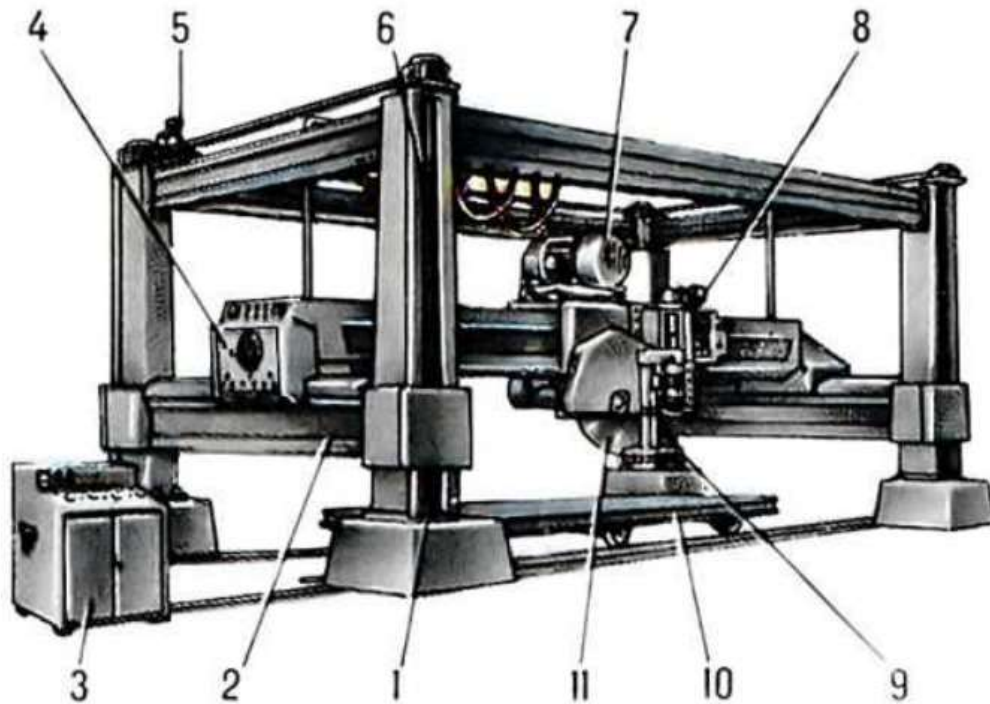


Рис. 4.55 Дисківий ортогональний розпилювальний верстат. Позначено:

1 – колони; 2 – поперечина; 3 – пульт керування; 4 – міст; 5 – механізм підйому й опускання мосту; 6 – ходовий гвинт; 7 – електродвигун обертання вертикальної пили; 8 – електродвигун обертання горизонтальної пили (підрізної); 9 – горизонтальна пила (підрізна); 10 – верстатний візок; 11 – вертикальна пила (відрізна)

Ортогональні багатодискові верстати отримали застосування при випилюванні з великих блоків плит обмеженої ширини (за звичай не перевищує 400 мм) і при цьому використовувати алмазні пили порівняно невеликого діаметру. Досягається незначна енергоємність різання та незначні втрати матеріалу на пропил.

Можливі компоновки ортогональних верстатів – мостова чи консольна. Найбільш розповсюджені – мостові з гідравлічною або електромеханічною подачею робочого органу по напрямних моста.

Верстати італійських фірм „Бра“ та „Кіеза Мілано“, які широко застосовувались в СРСР, являли собою масивну конструкцію з чотирьох колон, що мали ходові гвинти для вертикального переміщення поперечини з мостом. По напрямних моста рухається каретка з вертикальними й горизонтальним кругами, приводом та системою охолодження.

На рис. 4.56 показані варіанти розпилювання блоку для багатодискового ортогонального верстата ЖП-800, який оснащено двома автономними робочими головками, одна з яких має можливість фіксованого повороту на 90°.

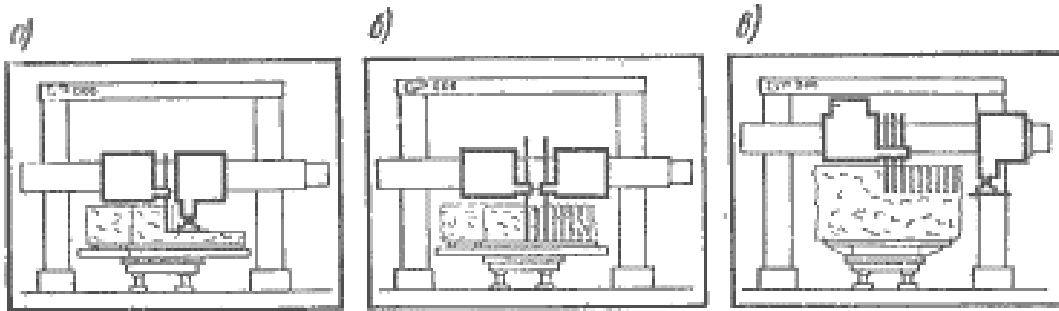


Рис.4.56 Багатодисковий ортогональний верстат ЖП-800 (варіанти розпилювання):
а) – випилювання брусів-заготовок; б) – розпилювання на плити; в) – випилювання плит з блоків.

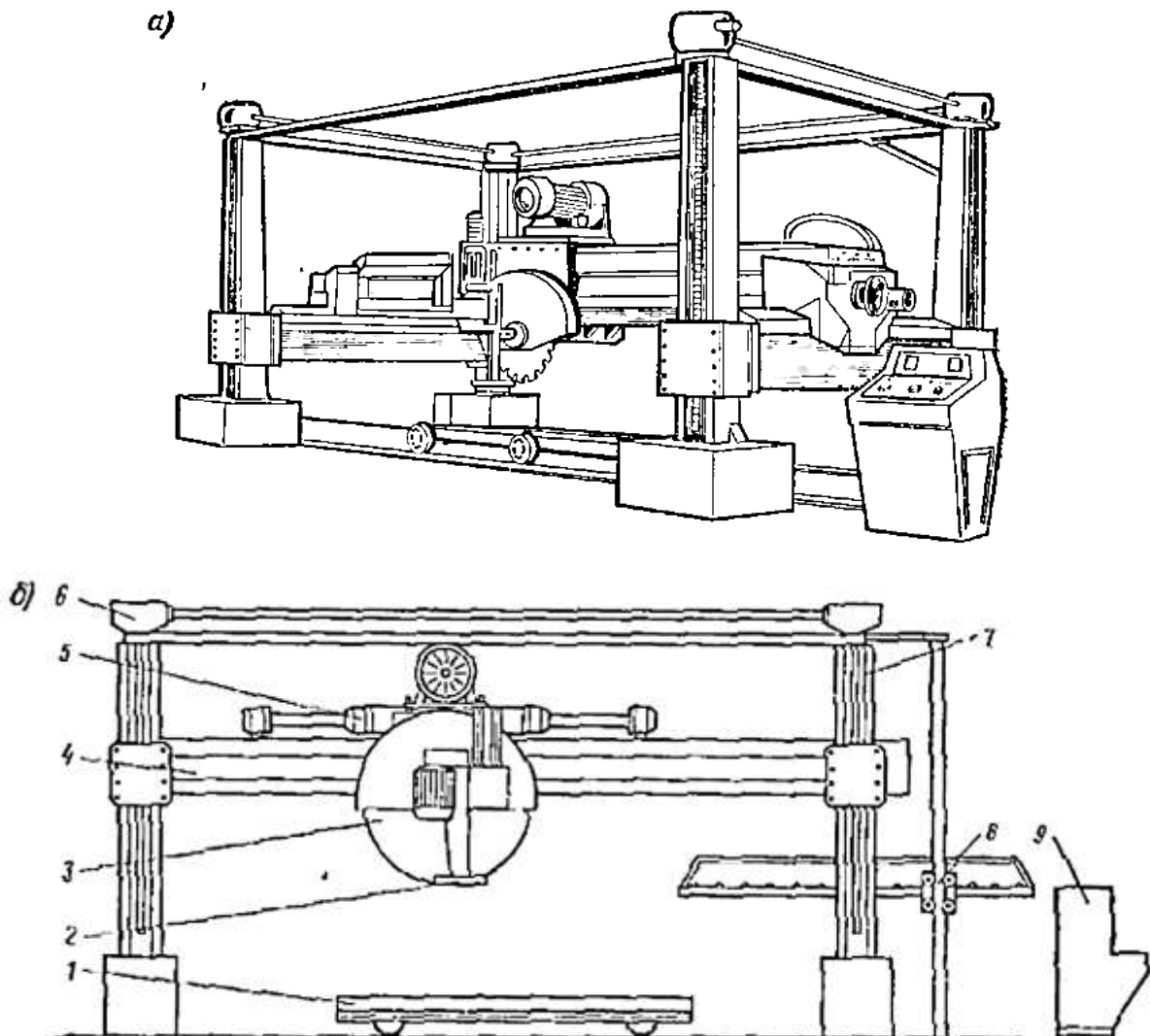


Рис. 4.57 Багатодисковий ортогональний верстат ВР-66: а) – загальний вигляд; б) – схема.

Позначено: 1 – верстатний візок; 2 – горизонтальна пила; 3 – вертикальна пила;
4 – міст; 5 – каретка; 6 – привод вертикальної подачі моста; 7 – колона; 8 – пристрій розвантаження; 9 – пульт керування.

Типовий представник – СМР-072, який зараз використовують для розпилювання також і міцних пород. Має 6 вертикальних пил max Ø 1250 мм(пил може бути 1, 2, 3, 6, 8, Ø 1100-1600 мм), горизонтальну пилу – Ø 500 мм. Потужність 90 кВт, подача до 6 м/хв. (може досягати до11 м/хв.). Максимальні розміри розпилюваного блоку, L×b×h=2800×1800×1800 мм. Габарити верстата L×B×H=13080×7060×5000 мм.

Верстат **ортогональний** для вертикального і горизонтального розрізування каменю компанії Wanlong (Китай) мод. **QSQ-1200A/1600A** – має одночасно встановлені вертикальну розрізну пилу та горизонтальну підрізну. Призначений для розпилювання гранітних та мармурових блоків на сляби й плитку.



Рис. 4.58 Верстат для вертикального і горизонтального розрізування каменю мод. QSQ-1200A/1600A. [http://www.wanlongstone.ru/stone-cutting-machine/2018_8.html]

Таблиця 4.4

Технічні параметри

Модель		QSQ-1200A	QSQ-1600A
Максимальний діаметр основної пили	мм	1200	1600
Потужність двигуна приводу головного руху	кВт	45/55	45/55
Максимальний діапазон підйому (вертикальний хід)	мм	1350	1350
Довжина мостової балки	мм	7260	7260
Максимальний розмір обробки	мм	3800×2100	3400×2100

Верба І.І.
Обладнання для обробки природного каменю

Модель		QSQ-1200A	QSQ-1600A
Максимальний діаметр горизонтальної пили	мм	400-600	400-600
Потужність двигуна приводу горизонтальної пили	мм	11	11
Діапазон переміщення горизонтальної пили	мм	850	850
Споживання води	м ³ /год	6	6
Габарити верстата $l \times b \times h$	мм	7400×3800×6100	7400×3800×6100

Верстат мостовий двоцильний СМР-015 (ортогональний) (рис.4.59) призначений для обкантовування й розрізування плит, в окремих випадках для фасонної обробки, вирізування пазів тощо. При встановленні поворотної головки й спеціального інструменту є універсальним: прорізування й шліфування пазів, шліфування поверхонь тощо.

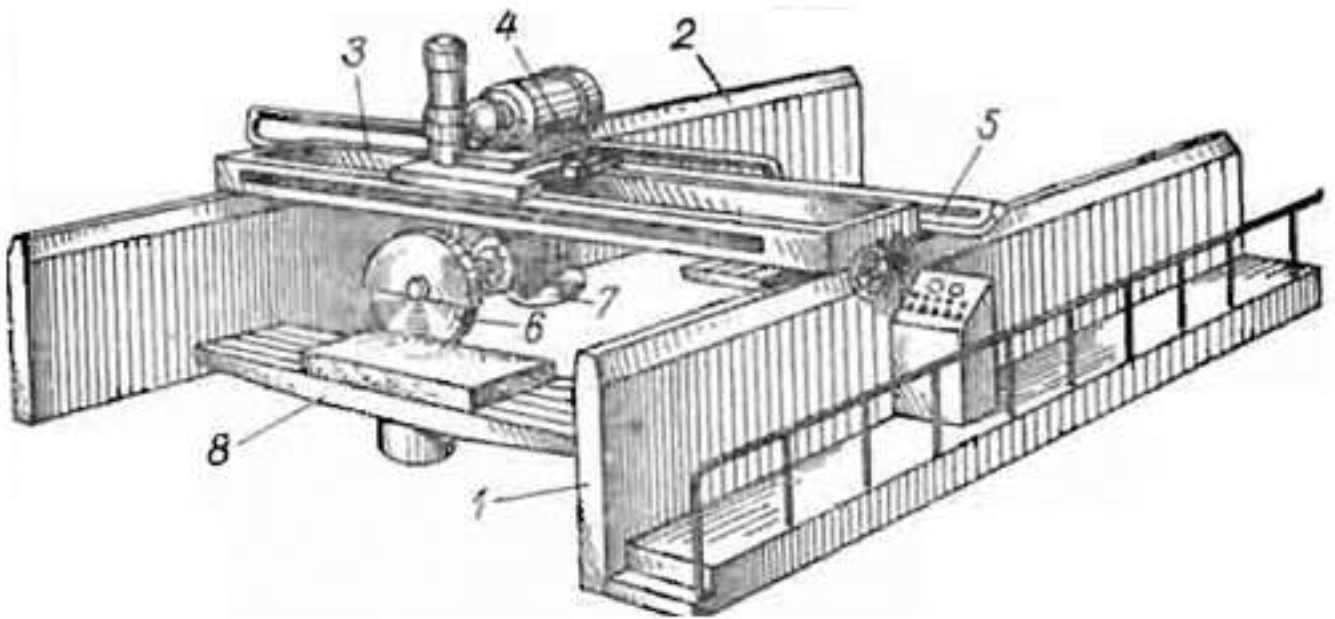


Рис.4.59 Окантовочно-фрезерний мостовий верстат СМР-015 [3]: загальний вигляд;

Позначено: 1 – опора; 2 – напрямні моста; 3 – міст; 4 – каретка (супорт);

5 – механізм переміщення каретки; 6 – вертикальний відрізний круг;

7 – горизонтальний відрізний круг; 8 – поворотний стіл.

Опори верстата виконані у вигляді складених залізобетонних балок суцільного перерізу. На них змонтовано напрямні. Міст є складеною балкою з двох відлитих прямокутних труб, які з'єднані по торцях перетинками. Має чотири катки для

переміщення по напрямних і дві напрямні (пласку й трикутну) у верхній частині, по яких переміщується каретка. На каретці закріплено вертикальну різальну головку з можливістю повороту на 90° і приводом від електродвигуна та горизонтальну, яка не має автономного привода: При переміщенні каретки здійснюється розрізування або обробка фасонної поверхні. Механізм переміщення каретки містить два плунжерні гідроциліндри, які розміщені паралельно один одному і скеровані протилежно. Корпуси циліндрів закріплені на каретці, а плунжери – на кронштейнах моста.

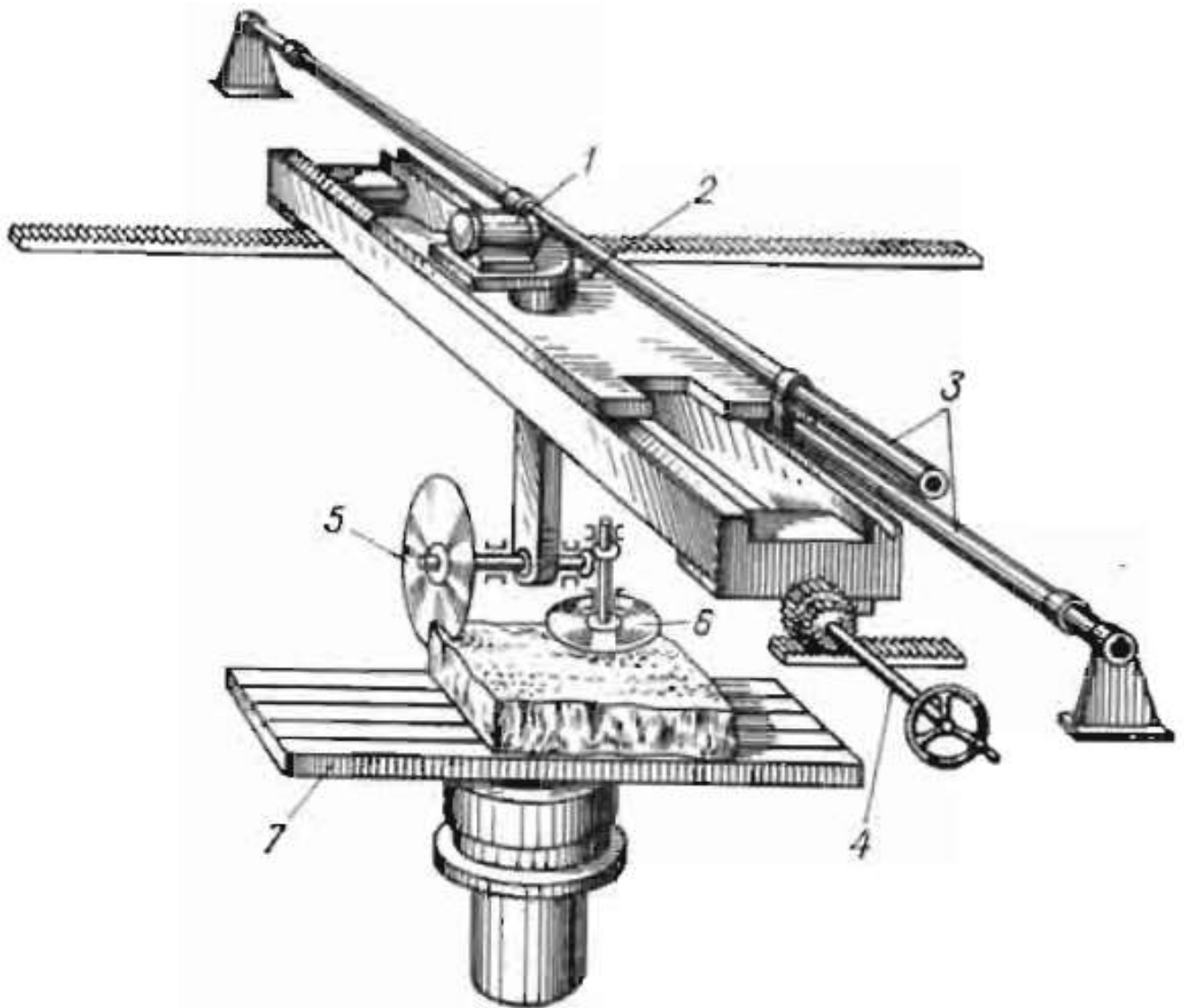


Рис. 4.60 Обкантовочно-фрезерний мостовий верстат СМР-015 [3]: кінематична схема.
Позначено: 1 – електродвигун привода вертикального відрізного круга; 2 – каретка (супорт);
3 – гідроциліндри механізму переміщення каретки; 4 – ручний привод переміщення моста;
5 – вертикальний відрізний круг; 6 – горизонтальний круг; 7 – поворотний стіл.

На рис. 4.61 показано основні види робіт, що їх виконують на верстаті СМР-015, який є універсальним за призначенням. Як інструмент можуть використовуватись як дискові пили (відрізні круги), так і шліфувальні круги, зокрема і профільовані

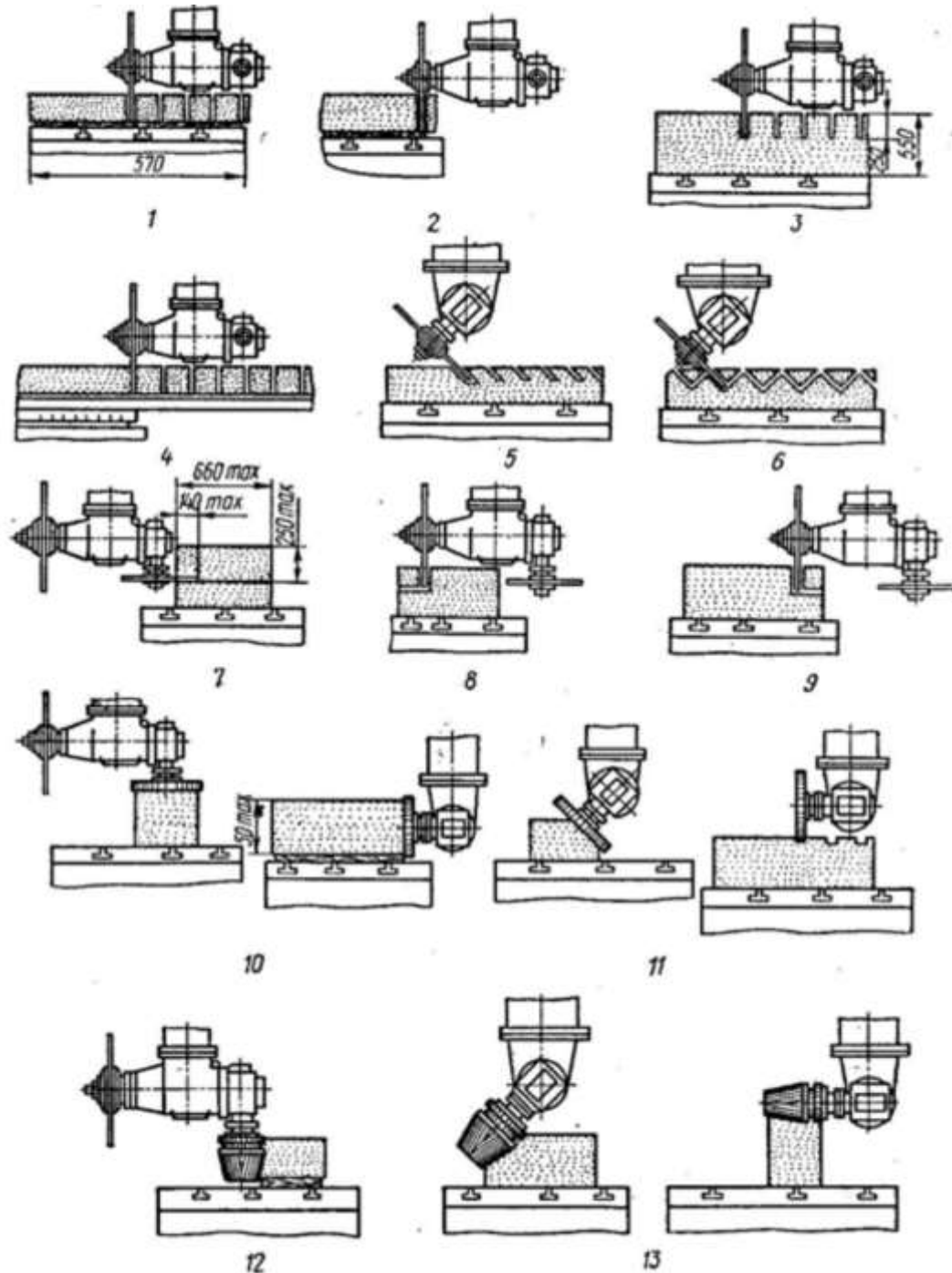


Рис. 4.61 Основні види робіт, що їх виконують на верстаті СМР-015 [23].

Позначено: 1, 2 – розрізування на плити й бруси; 3 – обкантовування;
4 – розрізування на плити чи бруски; 5, 6 – профільна (фігурна) обробка;
7, 8, 9 – підрізування уступів; 10, 11, 12, 13 – шліфування фасонних поверхонь.

Верстат **ортогональний багатодисковий** розпилювальний моделі COMP-1250 (рис. 4.62) також працює по принципу ортогонального розрізу кам'яного блоку декількома дисковими пилами, встановленими на вертикальному (що несе одну підрізну пилу) та горизонтальному (що має один або декілька пилкових дисків великого діаметра) шпинделях. Виготовляється в двох модифікаціях:

- для розпилу гранітних блоків;
- для розпилу блоків гірських порід середньої та низької міцності (мармур, вапняк тощо).

За компоновкою – мостовий (чотири вертикальні колони, які несуть дві балки, по яких рухається міст з розташованою на ньому робочою кареткою з робочими шпинделями і дисковими пилами).



Рис. 4.62 Верстат ортогональний багатодисковий розпилювальний моделі COMP-1250 [<https://pandia.ru/text/78/003/71382.php>]

Розмірні параметри

Кількість встановлених дискових пил, шт	
а) для розпилювання граніту: вертикальний шпindelь 9 горизонтальний шпindelь 1	б) для розпилювання мармуру: вертикальний шпindelь 2 горизонтальний шпindelь 1
Найбільший діаметр встановлених пилкових дисків, мм:	Вертикальних 1250; горизонтальних 400
Частоти обертання дискових пил, хв ⁻¹ :	горизонтальних, вертикальних 470-950
Швидкість різання, мм/с:	граніту – 25-30; мармуру – 35-45; вапняку – 50-60
Частоти обертання пил, об/хв	470-950
Потужність електродвигуна приводу обертання пил, кВт, не менш за	для вертикальних пил – 75; для горизонтальних – 15
Найбільші розміри розрізаного блоку, мм:	L×B×H = 3000×2000×2300
Робочі подачі візка, м/хв	до 10 (регульовані)
Максимальна швидкість переміщення мосту, м/хв:	в горизонтальному напрямі – 1,0; у вертикальному напрямі – 0,18
Вантажопідйомність візка – не менш за 20 т	швидкість переміщення – 3-5 м/хв

Верстат має візок для подачі кам'яних блоків у зону обробки.

Несучі базові деталі виконані з чавунного литва. Верстат має високу вібросталість.



Рис. 4.63 Ортогональний розпилювальний верстат мод. TBV/1300-30 G

Верстат мод. TBV/1300-30 G (рис. 4.63)

<https://saintlog.ru/product/ortogonalnyj-raspilovochnyj-standok-po-granitu-model-tbv-1300-30-g/>] призначений для виробництва смуг із блоків граніту. Сталева несуча система виконана так, що гарантовано гасить вібрації. Всіма переміщеннями керує система ЧПК з графічним терміналом. Вертикальне переміщення тяговим пристроєм у вигляді гвинтової передачі здійснюється по чотирьох колонах. Максимальний діаметр вертикальної пили

становить 1300 мм, горизонтальної – 350-400 мм. Кількість вертикальних дисків може доходити до 30 шт. Потужність двигунів вертикального диск – 110 кВт, горизонтального – 15 кВт. Габарити оброблюваного блоку: L×B×H = 3500×2300×2000.

Продуктивність верстатів для розпилювання каменю [33].

Верстат	Продуктивність, м ² /год		
	технологічна	циклова	фактична
Штрипсовий широкоставний з неармованими пилами (на граніті)	5-6	3-4	1-1,5
Штрипсовий з алмазними пилами (на мармурі)	35-40	25-30	8-12
Дисковий одновальний з алмазними пилами (на мармурі)	100-150	80-120	15-25 (25-40)
Дисковий ортогональний з алмазними пилами на мармурі на граніті	12-15	10-12	6-8
	6-8	4-6	1,5-3

В дужках наведено продуктивність верстатів в разі конвеєрної подачі заготовки.

Дискові розпилювальні верстати з ЧПК



Рис. 4.64 Каменеобробний центр з ЧПК мод. Unika 5 HT / Solid

Каменеобробний центр з ЧПК мод. **Unika 5 HT / Solid** (компанія-виробник високотехнологічного обладнання Denver, Сан-Маріно) має 5/6 осей та 27 позицій інструменту. Розмір столу 3500×2000 мм, потужність 21 кВт.

Призначений для прямолінійного й фігурного розкрою слабів із природного й штучного каменю та виготовлення профільних виробів різної складності (за 5-ма осями). Виконувані операції: прямолінійний та криволінійний розкрій, розкрій під кутом 0-90°, прорізування пазів у торцях деталей, виготовлення різних профілів, зокрема деталей обертання канелюрів, капітелей, тощо. Є по суті універсальним верстатом, який поєднав мостову пилу й обробний центр.

На рис. 4.65 показані деякі схеми обробки [\[https://www.stanki.ru/catalog/stone obrabatyvayushchie tsenry s chpu/denver unika 5 ht solid /\]](https://www.stanki.ru/catalog/stone_obrabatyvayushchie_tsenry_s_chpu/denver_unika_5_ht_solid/)

Верба І.І.
Обладнання для обробки природного каменю



Рис 4.65 Схеми обробки на 5-вісному обробному центрі з ЧПК.

Конструктивні особливості:

- інтерпольований нахил 5-тої осі забезпечує точне виконання навіть найскладніших профілів;
- зовнішня система охолодження;
- передбачена комплектація двома й більше робочими столами (зонами), наприклад, на одному відбувається розкрій, а на другому – обробка кромки та фрезерування;
- гідравлічна система підйому для завантаження заготовки;
- передбачено встановлення токарного вузла для виготовлення простих тіл обертання та складних (наприклад, гвинтові колони) із застосуванням інтерполяції;
- ліфтовий стіл з механізмом підйому із двома потужними гідроциліндрами дає можливість виготовляти деталі висотою до 1,5 м, зокрема складної форми, з декоративними елементами (робоча зона підйомного столу становить 800×1000 мм за вантажопідйомності 1000 кг);
- верстат укомплектований потрібної потужності електрошпинделем, що робить можливими наступні види обробки: обробка кромки сляба (шліфування, полірування), фрезерування, свердління отворів, 3D-гравірування на площині тощо;

- передбачено встановлення магазину інструментів;
- на головці встановлено спеціальний щуп для вимірювання товщини слябу, що дозволить оброблювати заготовки із непостійної товщини;
- сенсор зношення інструменту для корекції безпосередньо в процесі роботи програми різання чи фрезерування з врахуванням зношення дисків і фрез;



Рис. 4. 66 Електрошпindelь.

Технічні параметри UNIKA 5 HT / SOLID: діаметр диску 350-625 (825) / 350-625 (825-1000) мм; максимальна товщина оброблюваного матеріалу-200 / 200 (393); частота обертання шпинделя 1400 (до 6000) / 1400 (до 10000) об/хв; потужність шпинделя 13 (до 21,5) / 13 (34,5) об/хв; максимальний діаметр деталі обертання (-) / 400 мм, довжина (-) / 2400 мм; кут повороту пильного диску (-5°)-(+360°), кут нахилу (-10°)-(+90°); робочий стіл (×2 за опцією) – 3500×2000 мм; максимальні переміщення за осями: X – 3700 мм, Y – 2600 / 3800 мм, Z – 450 / 720 мм.

Аналогічні можливості, але стосовно обробки у 3-4 координатах, має мостовий обробний центр з ЧПК мод. **Quota Stone 3350** (компанія Denver, Сан-Маріно, Італія) з кількістю інструментів 11/22 шт (11 інструментів за опцією), розміром столу 3250×1550 мм та потужністю 11 кВт.

Заготовка (одна великогабаритна чи кілька невеликих одночасно) закріплюється у робочій зоні за допомогою вакуумних упорів чи затискачів. Шпindelьна головка рухається по напрямних типу „ластівчин хвіст“ з використанням гвинтової пари. Частота обертання шпинделя регулюється в межах до 10000 об/хв з використанням сервоконтролера. Шпindelь має внутрішню систему охолодження із застосуванням антифризу і є два контури водяного охолодження інструмента. Внутрішнє споживання води становить 6 л/хв, зовнішнє – 100 л/хв. Привод моста здійснюється рейковою передачею. Максимальні швидкості переміщення за осями X, Y, Z відповідно 50 м/хв, 25 м/хв, 15 м/хв.

В якості конструктивних особливостей можна назвати наступне:

- електрошпindelь з частотою обертання 10000 об/хв і з повітряним охолодженням: габарити збільшились порівняно з рідинним охолодженням, але конструкція

простіше, вище надійність, не потребує висококваліфікованого обслуговування, має низьку вартість ремонту.

- водяне охолодження інструмента внутрішнє й зовнішнє, при тому зовнішнє охолодження має комп'ютерне керування і дозволяє як відключати подачу води, так і направити воду в потрібний бік – туди, де здійснюється обробка, що дає можливість збільшити вдвічі швидкість обробки без збільшення витрат води;
- пристрій для компенсації зазорів між твердосплавною зубчастою рейкою та зубчастим колесом з метою збереження точності переміщень моста;
- алюмінієвий стіл має конструкцію, яка попереджає деформацію його поверхні від перепадів температури й вологості, тобто не потрібне калібрування стола;
- магазин з автоматичною заміною інструментів у шпинделі;
- передбачено можливість завантаження заготовок – зверху чи з боку фронтального.

Верстат Quota Stone комплектується програмою Taglio, яка передбачає створення 3D-моделі майбутньої деталі, показує також розташування упорів та вакуумних присосок для позиціонування заготовки, передбачено також емуляцію рухів.

Обробний центр з ЧПК Ghines Gmatic 3000 (Італія) з трьома осями (рис. 4.67) також призначений для виготовлення виробів побутового призначення з натурального



Рис. 4.67 Обробний центр з ЧПК.

каменю, синтетичних та керамічних матеріалів. Компонувачно це моноблочна рама із сталевим мостом. По рейкових напрямних кочення, розташованих на мосту, переміщується супорт із шпиндельною голівкою, яка містить охолоджувану рідиною електрошпindel потужністю 5

кВт та з частотою обертання 15000 об/хв. У склад верстата входить магазин на 14 автоматично замінюваних інструментів та лазерний пристрій для позиціонування заготовок і точного розташування вакуумних присосок.

Багатофункціональний верстат по обробці каменю Ghines Systar Basic (Італія) призначений для виконання наступних операцій: різання прямолінійне (3000 мм довжиною), криволінійне та під кутом 45°, профілювання, обробка щілин, свердління, шліфування й полірування внутрішніх і зовнішніх поверхонь та крайок (зокрема, під кутом 45°) – тобто всі види обробки, яких потребує невелике каменеобробне підприємство (обробка будь-яких кухонних та туалетних виробів, арок, підвіконь,

східців, пам'ятників). Максимальна товщина заготовки 60 мм за робочої зони 3100×1100 мм. Верстат має просте встановлення й не потребує фундаменту.

Робоча головка містить в алюмінієвому корпусі електрошпindelь потужністю 22 кВт з внутрішнім водяним охолодженням, має частоту обертання 1500-12500 об/хв (контролюється контролером) і здійснює встановлюваний рух за трьома осями. Реалізовані поздовжні та поперечні напрямні кочення (рейкові роликові та шарикові з рециркуляцією тіл кочення), вертикальне переміщення 100 мм маховиком. Для заміни інструмента головку піднімають пневматичною системою (одночасно з автоматичним блокуванням) з тиском 3 бари і подачею повітря 20 л/хв. Передбачено автоматичне зовнішнє (через гнучкі шланги) та внутрішнє (через інструмент) охолодження інструменту (мінімальна подача 15 л/хв, тиск 2 бари). Заготовку закріплюють вакуумними присосками (загальні витрати повітря 150 л/хв).

Верстат **Pellegrini La Rossa** (Італія) також є багатофункціональним і здійснює



Рис. 4.68 Багатофункціональний каменеобробний верстат з ЧПК

широкий діапазон високошвидкісної поверхневої обробки. Має чотири мости, що можуть працювати автономно. Така конструкція дає можливість отримати нові текстури, що є недоступними для інших машин. Можливо поєднання наступних методів обробки мармуру: обробка фасок, шліфування, полірування, лощення, бучардування, старіння, піскоструминна обробка, обробка щіткою. Для граніту перелік децю вужчий.

Переміщення й обертання кожної головки регулюється інвертором, керується програмованим логічним контролером. Машина може мати термообробний або бучардуючий (обертова головка з 5-ма молотками) пристрій. Максимальний розмір заготовки 3500×2200×250 мм, а вага 2000 кг. Витрати води 10 л/хв. Рівень шуму 77 дБ.

Як приклад можна також назвати верстати серії **NEW CHAMPION PLUS** компанії **Prussiani Engineering** (Італія) – мостовий фрезерний верстат з п'ятою – шостою інтерпольованими осями, який був розроблений спеціально для обробки мармуру, граніту, кераміки та інших видів каменю. Системи ЧПК в поєднанні системами CAD/CAM дозволяють виконувати значний обсяг робіт в першу чергу тих, що пов'язані із

профілюванням (карнізи, арки, колони, скульптури, барельєфи, перила тощо), виконання прямолінійних та криволінійних різів.

Деякі параметри верстату NEW CHAMPION PLUS 1300:

Хід по осях: $X=3800$ мм, $Y=(GANTRY)=3500$ мм, $Z=1300$ мм; Обертання осі $A= -185^\circ - +185^\circ (370^\circ)$; нахил осі $C: -120+120^\circ$; Ось U (обертання заготовки) –



Рис. 4.69 Маніпулятор Cut & Move з вакуумним захватом.

постійне; пришвидшений хід по осях $X, Y - 65$ м/хв, по осі $Z - 11,4$ м/хв. Потужність моторшпинделя основного диску 41 кВт, крутний момент 251 Нм, швидкість обертання $0 - 8000$ об/хв. Максимальний діаметр диску 1200 мм. Для осей X, Y, Z, A, C, U застосовано серводвигуни з абсолютним енкодером (FAGOR). Сенсорний монітор $18,5''$ (кольоровий). Рівень звукового тиску $80-90$ дБ (А).

Верстат оснащено маніпулятором із **вакуумним захватом для переміщення плит**: скорочує відходи матеріалу до 30% , зменшує витрати дискових пил та площу обладнання.. Мостова балка переміщується двома сервомоторами, правим і лівим (система GANTRY). Стіл має поверхню із спеціальної гуми, що попереджує ковзання. Спеціальне пластичне мастило забезпечує відсутність плям від мастила на слябах.

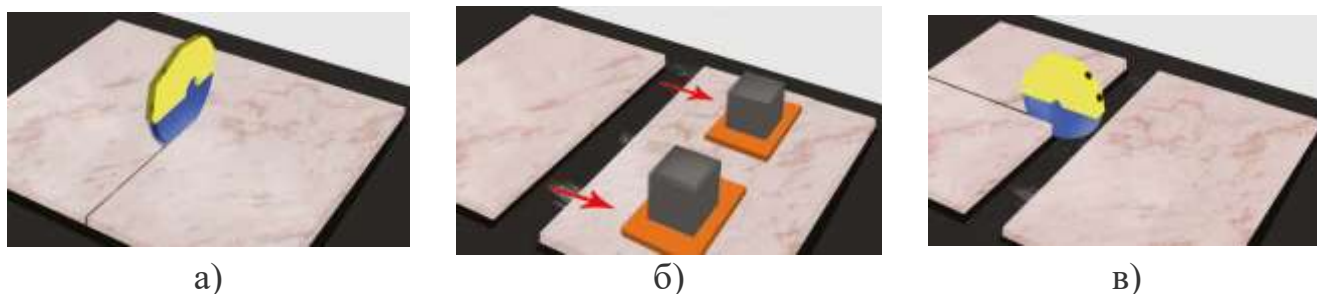


Рис. 4.70 Порядок здійснення різів: а) – виконання перших різів для того, щоб розділити сляб; б) – переміщення полос матеріалу вакуумним маніпулятором Cut & Move; в) – виконання різів, що лишилися.

Верба І.І.
Обладнання для обробки природного каменю

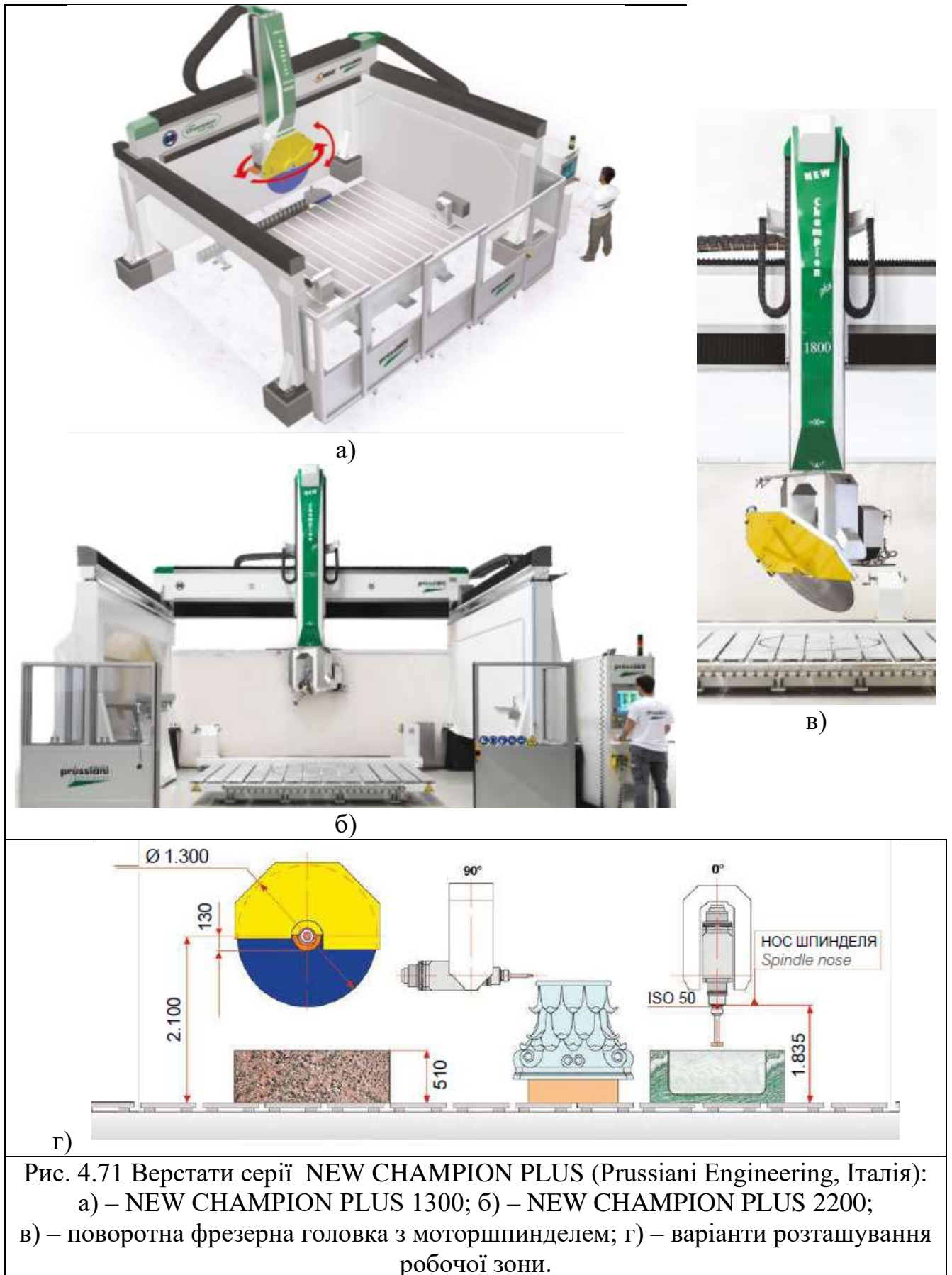


Рис. 4.71 Верстати серії NEW CHAMPION PLUS (Prussiani Engineering, Італія):
а) – NEW CHAMPION PLUS 1300; б) – NEW CHAMPION PLUS 2200;
в) – поворотна фрезерна головка з моторшпинделем; г) – варіанти розташування
робочої зони.

4.2.3 Розпилювальні верстати з еластичним робочим органом

Еластичний гнучкий робочий орган для розпилювання каменю мають канатнопильні, стрічкопильні (алмазно-стрічкові), барові верстати.

Канатнопильні верстати дозволяють безшумно й продуктивно оброблювати блоки значних розмірів, виконувати профільне різання, зокрема за програмою. Швидкість різання найбільша у алмазно-канатних верстатів – до $V = 40$ м/с. Мають просту конструкцію, низьку енергоємність, менші експлуатаційні витрати.

Продуктивність визначається конструкцією канату, який має обмежену довжину 16-20 м, якщо його армовано. Неармовані канатні пили використовують рідко. Недоліком є низька жорсткість інструмента, яка зумовлює відхилення канату від площини пропилу та складність одночасного використання кількох канатів. Останнім часом з'явилися багатоканатні верстати, які можуть бути альтернативою штрипсовим. Кількість канатів – до 16 і більше, мінімальна товщина відрізаної плити мармуру або граніту – 21 мм. Найефективніші для каменю малої та середньої твердості.

Обов'язково контролюють стрілу прогину канату при розпилюванні. Навантаження на 1 м довжини канату – 0,6-1,2 кН (залежно від міцності каменю, розглядають 6 класів твердості, які визначають умови обробки).

Канатнопильні верстати поділяють на стаціонарні (нерухомі) й рухомі. Нерухомі верстати мають масивну станину та призначені для великих обсягів розпилювання. Пересувні канатнопильні верстати використовують у кар'єрах для розпилювання моноліта на блоки.

Стаціонарні верстати містять станину, виконавчий орган у вигляді шківів з робочим інструментом – канатною пилою, привода виконавчого органу, механізму натягування канатів, робочого стола для встановлення заготовки і привода подачі.

Традиційний канатнопильний верстат (рис.4.66) є порталною конструкцією, по бокових стойках якої рухаються вертикально два обертових шківів діаметром 2000-3000 мм, які здійснюють поступальний рух канату вздовж блоку. Чим більший діаметр шківів,

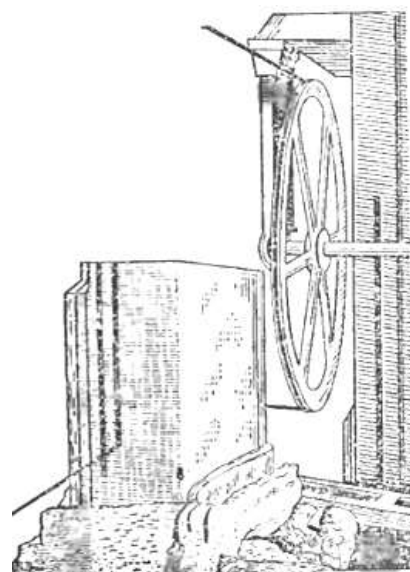


Рис. 4.72 Випилювання товстих плит-заготовок канатною неармованою пилою.

тим менша небезпека розриву канату через циклічні навантаження згину, а також при цьому збільшується точність різку, але збільшення габаритів обладнання зумовлює ускладнення експлуатації і зростання вартості. Додатково на вході й виході канату із блоку використовують 4 напрямних шківів меншого розміру для фіксації канату та регулювання його натягування. Подача блоку й регулювання товщини відпилювання здійснюється візком з автономним приводом, який рухається рейками з точністю до міліметра і на якому розташовують блок. Іноді на візку розташовують поворотний стіл, що робить можливою обробку з будь-якого боку, та під кутом. Відстань між шківом – 7000 мм, довжина канату (робочого органу) відповідно 10-25 м, а робоча швидкість – 8-40 м/с при потужності електродвигуна головного руху 15-20 кВт. В зону різання для охолодження й змивання шламу, який утворився, подається вода: 20-30 л/год на один канат.

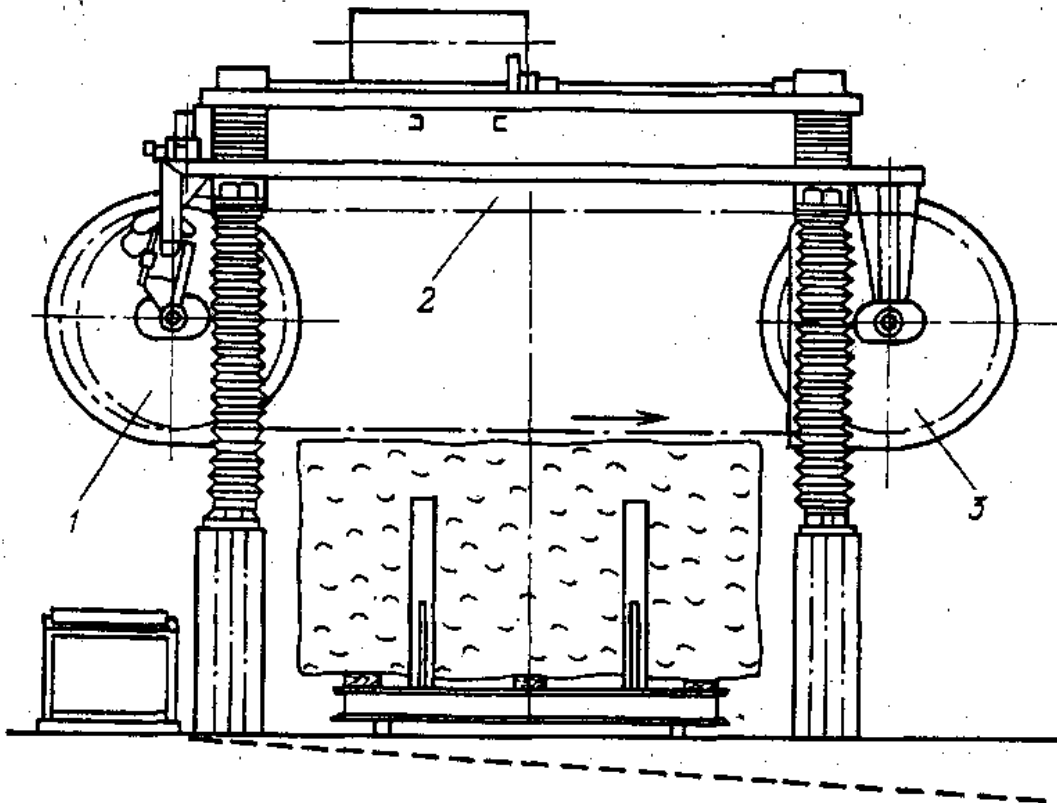


Рис. 4.73 Принципова схема стаціонарного канатного верстату.

Позначено: 1 – ведучий шків; 2 – робочий канат; 3 – ведений шків.

Існує мінімальний розмір блоку (або ставки) за якого розпилювання ще не є збитковим. Заповнення робочого простору верстату забезпечує ефективність його експлуатації. Розміри робочого простору канатних верстатів лежать в межах: довжина від 2,4 м і більше (мінімальна – 1,5 м), ширина – 2,0-3,0 м, висота – 1,6-2,4 м.

Верба І.І.
Обладнання для обробки природного каменю



Рис. 4.74 Приклади одноканатних верстатів компанії DAZZINI MACCHINE, які можуть використовуватись на кар'єрах для розпилювання монолітів на блоки або блоків на сляби.

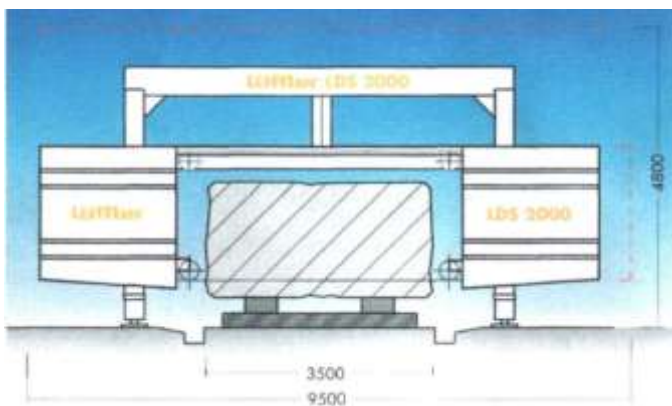


Рис. 4.75 Одноканатні верстати LDS 2000 фірми Loffler (Німеччина).

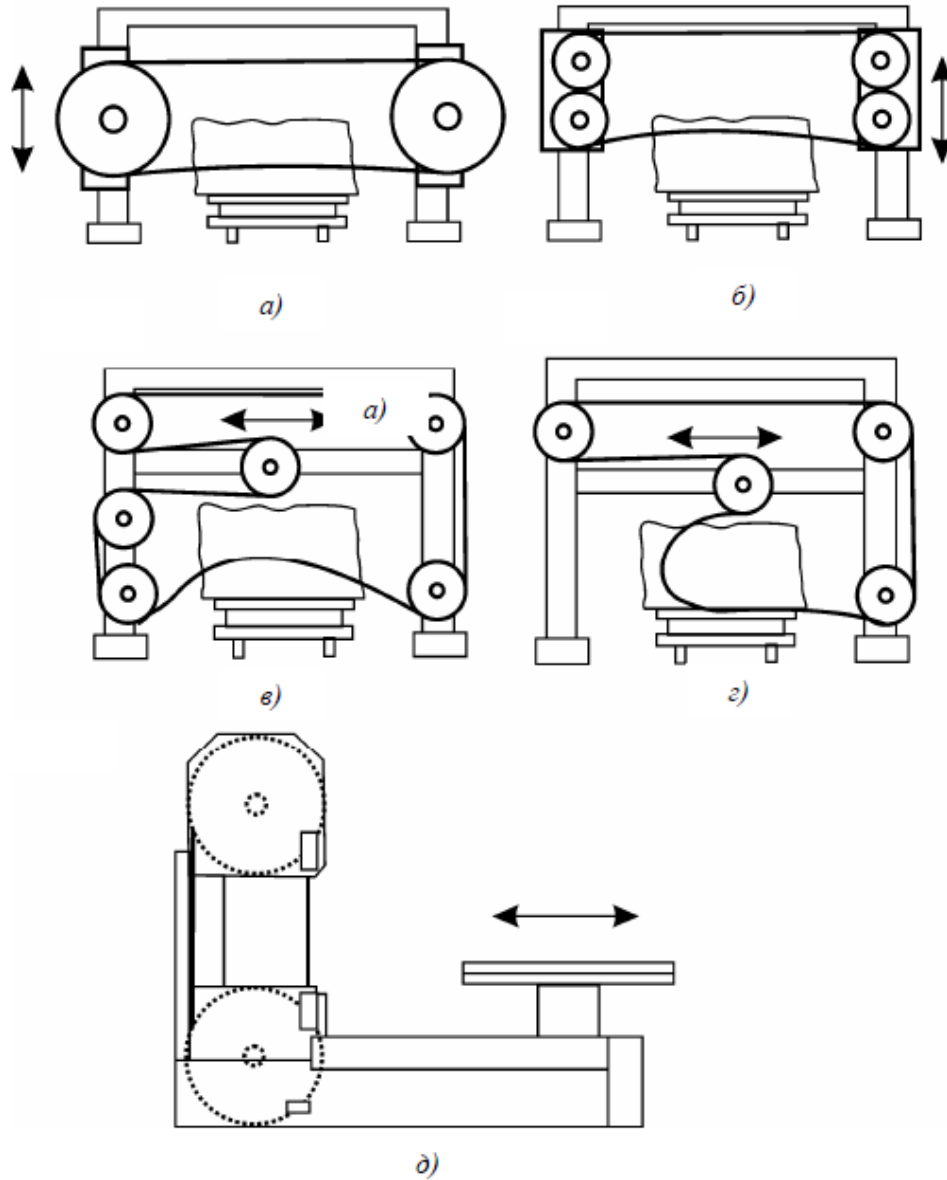


Рис. 4.76 Канатнопильні верстати з алмазними пилами: а) – з горизонтально розташованим канатом, прямолінійною робочою частиною контуру та двома шківками великого діаметра; б) – з прямолінійною робочою частиною контуру та двома парами шківків; в) – з параболічною робочою частиною контуру для розпилювання граніту; г) – з параболічною робочою частиною контуру для розпилювання мармуру (модифікація); д) – з вертикально розміщеним канатом [33, 19].

Залежно від компоновки шківків та реалізації подачі (прямолінійна або петле подібна (параболічна) робоча частина контуру) розрізняють різні конструктивні виконання (рис. 4.77).

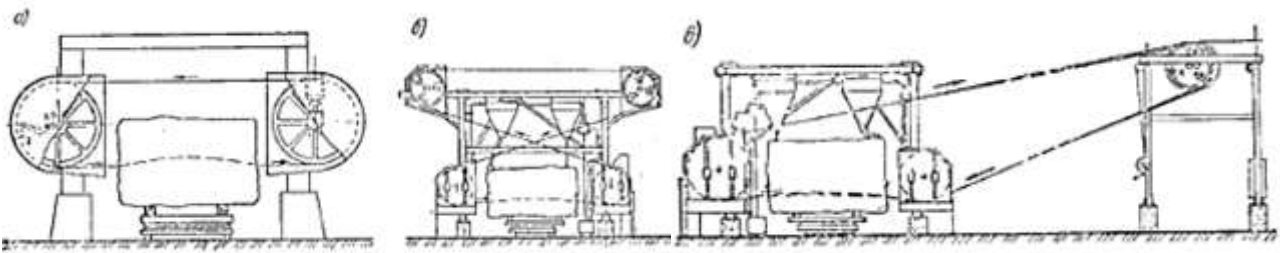


Рис. 4.77 Канатнопильні верстати: а) з робочим контуром зменшеної довжини; б) з подовженим робочим контуром та додатковими шківками над робочою зоною; в) з подовженим робочим контуром та додатковим шківком, який знаходиться поза робочою зоною [33].

Верстати з горизонтальним чи вертикальним канатом, прямолінійною робочою частиною контуру та двома шківками великого діаметра відносно прості, мають сприятливі



Рис. 4.78 Канатнопильний верстат
<http://www.directindustry.com/ja/prod/pellegrini/>

умови експлуатації, незначний вигин канату завдяки великим шківкам. Але висота блоків, які розпилюються, обмежена (вона не перевищує діаметр шківків, бо холоста гілка каната не повинна доторкатися до каменю). Недоліком є складність балансування шківків, що зумовлює вихід з ладу підшипників та обмежує швидкість різання. Верстати такого типу випускають фірми Pellegrini, Bideseimpianti. Наприклад, верстати серії DIAMANTFIL (фірма Pellegrini, Італія) всі мають приводний та

натяжний шківки \varnothing 2000-2500 мм, що зменшує навантаження втомлюваності на трос каната завдяки меншій кількості перегинів. Конструктивні версії відповідають потребам споживачів.

На рис. 4.79 показано одноканатну машину для розрізування блоків та різання плит Breton BESTWIRE

Портальна конструкція забезпечує необхідну жорсткість системи та точність різання. З обох боків розташовано візки, які ковзають по вертикальних стовпах машини: застосовано гвинтовий привод для переміщення канатів вгору-вниз. Швидкість опускання канату автоматично контролюється датчиками системи керування машини. Канат отримує рух від шківка великого діаметру, який обертається через пасову передачу від асинхронного двигуна з інверторним керуванням. Інший приводний шків утримується пневмоциліндром, який забезпечує натягнення канату. Верстат має два незалежних верхніх ведених шківки та два приводні

Верба І.І.
Обладнання для обробки природного каменю

шків для канату, які встановлюють поряд у місці, де канат входить і виходить у блок, що розпилюють. Всі шківни мають змінні зносостійкі еластомірні профілі. До розтягуючого пневмоциліндру приєднано спеціальний датчик, який зупиняє машину у разі підозри щодо можливого обриву канату.



Рис. 4.79 Одноканатна машина Breton BESTWIRE [<https://breton-stonemachinery.blogspot.com/2012/05/bestwire-machine-structure-and.html>]



Рис. 4.80 Одноканатна машина Breton BESTWIRE

Блок встановлюють на візку, який має колеса спеціального профілю для руху рейками, закріпленими на фундаменті з метою забезпечити точну паралельність різів навіть при різанні товстих слябів.

Найкращий розподіл сил різання й подачі, тож і сприятливі умови експлуатації інструменту, забезпечує параболічна робоча частина контуру. Робоча подача забезпечується горизонтальним переміщенням по траверсі каретки з неприводним шківом. Траверса має регулювання по вертикалі.

В сучасних верстатах з ЧПК можна утворювати неплоскі поверхні розпилу за рахунок керованого поворотного руху елементів, на яких розташовані шківви, (наприклад, верстат DIAMANTFIL JOLLI (Pellegrini, Італія)).



Рис. 4.81 Верстат CZSJ-2000 для алмазно-канатного різання (фірма Wanlong, Китай).

Стационарний алмазно-канатний верстат CZSJ-2000 (рис. 4.82) в основному використовується для обкантиювання і розпилювання блоків. Довжина канату 21 м. Розміри стола 2000×2000 мм. Максимальний розмір обробки (L×B×H)=3500×2000×2000 мм.



Рис. 4.82 Верстат SJ-2000A для алмазно-канатного різання каменю (фірма Wanlong, Китай.) [http://www.wanlongstone.ru/stone-cutting-machine/2018_49.html].

творюється для обкантиювання і розпилювання блоків. Довжина канату 21 м. Розміри стола 2000×2000 мм. Максимальний розмір обробки (L×B×H)=3500×2000×2000 мм.

[http://www.wanlongstone.ru/stone-cutting-machine/2018_48.html].

Верстат з ЧПК мод. SJ-2000A призначений для блочного різання мармуру, граніту, пісковика, вапняку. Має незалежну систему напрямних на кожній колоні. По напрямних

вниз та вгору рухаються робочі колеса для натягування пили. Постійний контроль та регулювання натягування канату забезпечують високу точність різів. Процес різання може здійснюватися у двох напрямках. Лінійна швидкість канату регулюється у широких межах. Діаметр канату $\varnothing 8,6$ - $\varnothing 10,8$ мм, довжина – 14,8 м. Розміри стола 2000×1300 мм. Максимальні

розміри обробки (L×B×H)=2000×2000×1500 мм. Витрати води 6 м³/год. Габаритні розміри верстату 6810×5354×3770 мм.

Таким чином, для розпилювання кам'яних блоків на плити (сляби) принципово можуть використовуватись наступні інструменти:

- штрипсові пили, зокрема алмазні;
- дискові пили з алмазними сегментами;
- канатні пили, зокрема також алмазні.

Кожен з цих технологічних процесів має свої переваги й недоліки. Останнім часом у світі ефективно застосовують мультиканатне розпилювання блоків. Однією з причин є промислове виробництво якісних алмазних канатів, бо саме відсутність якісного інструменту обмежувала розвиток канатного розпилювання, зокрема й мультиканатного, яке є досить привабливим за своїми характеристиками. Канатні пили стали доступні для користувача і за вартістю: за останні 15 років при збільшенні надійності та строку експлуатації вартість 1 погонного метру зменшилась у 2,5-3 рази [29].

Переваги канатних верстатів **порівняно з дисковими** верстатами:

- Значно швидше здійснюється заміна інструменту (заміна канату – 15 хв.), відсутні витрати по реставрації корпусу пили й заміні ріжучих сегментів.
- Менше шумоутворення.
- Менше споживання енергії і технічної води.
- Менші габарити, простіша конструкція, легко виявити несправність і замінити вузли..
- Можливість розпилювати блоки більшої висоти (нема обмеження діаметром дискової пили).
- Менше ширина пропилу.
- Можливість профільного різання
- Доцільність для різання тонких слябів, особливо це стосується мультиканатних машин.

Для успішного впровадження канатнопильних верстатів необхідно було знайти конструктивне рішення, яке мало б конкурувати з штрипсовими пилорамами (маятниковими та алмазними). В першу чергу мається на увазі можливість розрізати цілий блок за один цикл різання: тобто блок об'ємом до 10 м³ розпиляти на плити завтовшки 20-30 мм, що потребує одночасної роботи десь 70 алмазних канатів. Подібну мультиканатну машину, в основу якої покладено принцип роботи алмазно-штрипсової пилорами, запропонувала,

зокрема, італійська фірма Simes. Вузол різання розміщено у верхній частині на 4-ох колонах, а оброблюваний камінь, встановлений на транспортуючому візку, під час різання піднімається вгору. Від регульованого електродвигуна потужністю 200 кВт приводиться в рух 70 алмазно-канатних пил. Відмінністю машини є те, що для приводу на валу змонтовано ряд шківів, на кожному з яких встановлено замкнену канатну пилу. Відомі й розповсюджені конструкції, в яких застосовано один барабан з канавками під канати. Таке рішення ускладнює ремонт машини. Натягнення канатів здійснюють переміщенням осі веденого шківа. Конструктивні рішення дозволили полегшити процес налаштування машини: два оператори можуть змінити розставлення канатів на нову товщину плит за 15 хв., а повну заміну комплекту за час, близько до однієї години (для штрипсової пилорами в кілька разів довше).

Проблеми

1. Забезпечення однакової сили натягнення (1500-2000 Н) й компенсація видовження кожного з канатів (за звичай конструктивними засобами). Проблемою є те, що за однакової сили натягнення кожен з канатів, попри однакову заводську довжину замкнених контурів, подовжується по-своєму, тобто в реальності відбувається процес різання різними за довжиною канатами.

2. Регулювання товщини плит, які відпилюють. Прямий шлях – це демонтаж шківів та встановлення їх на потрібну ширину для забезпечення інтервалу канатів, але ця операція дуже трудомістка й затратна за часом.

3. Попередження або компенсація вібрацій.

4. Встановлення на вали чи шківів замкнених контурів канатів.

Останнім часом з'явилися **багатоканатні (мультиканатні) верстати**, які можуть стати альтернативою штрипсовим верстатам (наприклад, повністю автоматизовані машини з ЧПК серії POLYWIRE, які вважаються найкращими за швидкістю, точністю, терміном експлуатації і мають від 5 до 16 канатів [1]).

Одна з новітніх розробок передбачає використання системи клинів, які автоматично вставляються у різ між плитами слідом за канатом. Досягається велика продуктивність та забезпечується висока точність ($\pm 0,5$ мм).

Слід відзначити верстатобудівну компанію „ToolStar“ (Китай) – виробника канатних верстатів для різання кам’яних блоків, кар’єрних канатних машин і самих алмазних канатів різного призначення.

Компанія „ToolStar“ випускає одноканатні верстати серії SWS 4000 для різання блоків у вертикальній та горизонтальній площинах, серії PWS 2000 /3000 з програмним керуванням для профільного різання граніту та мармуру, мультиканатні машини серії MWS (рис. 4.83, 4.84, [<https://vdk-spb.ru/catalog/oborudovanie-dlja-kamneobrabotki/kamneobrabativajushhie-stanki/stanki-kanatnie-raspilovochnie/multikanatnye-stanki-toolstar-dlya-kamneobrabotki/multikanatnyj-standok-toolstar-mws-10v-kitaj1/>]).

Компанія „ToolStar“ забезпечила загальну жорсткість конструкції мультиканатного верстату, усунення вібрацій та рівномірне натягування канатів під час розпилювання. Серія мультиканатних машин MWS охоплює машини для різання 5-10-12-20-40-76 канатів одночасно. Призначена для різання слябів. Є доступною для підприємств з обробки каменю.

Конструктивно це дві колони, поєднані станиною. На станині розташовано приводний двигун з ходовими гвинтами вертикального переміщення поперечної балки, на якій закріплено верхній та бокові захисні кожухи з розташованими в них ведучими й веденими шківками. Над балкою розташовано пристрій натягування з гідросистемою.

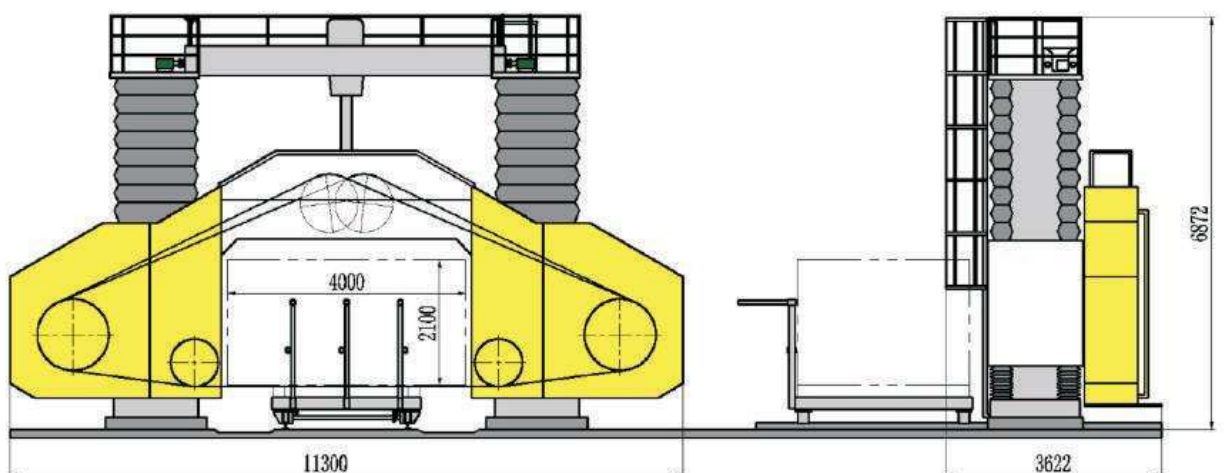


Рис. 4.83 Мультиканатна машина ToolStar MWS 10B

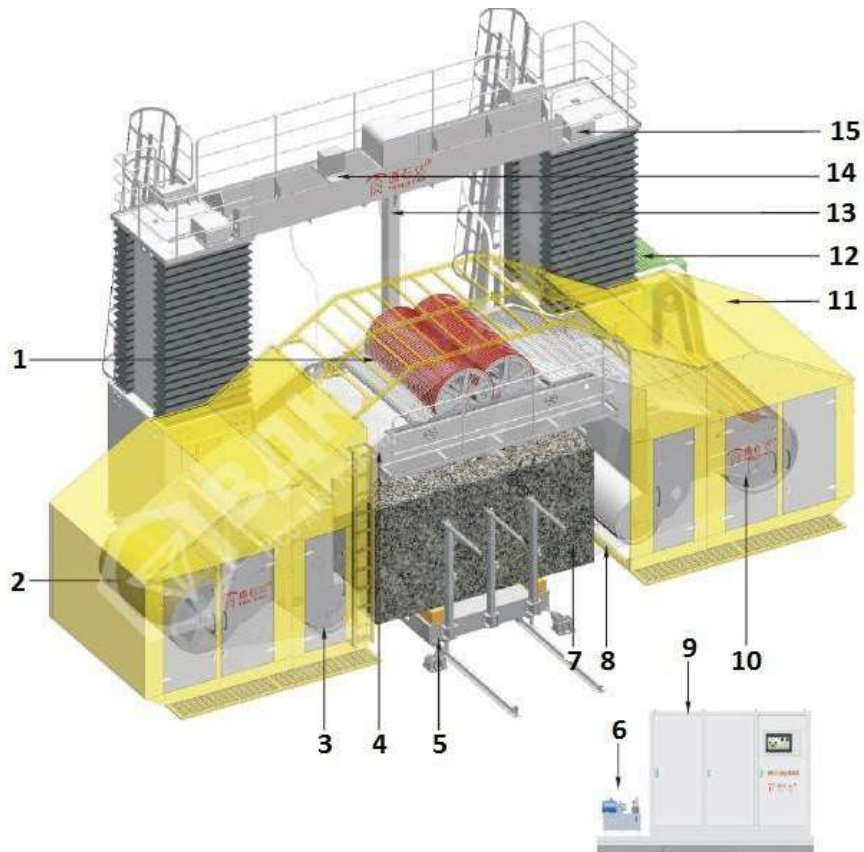


Рис. 4.84 Основні елементи машини ToolStar MWS 10B

На рис. позначено: 1 – система натягування; 2 – ведений барабан; 3 – напрямний барабан; 4 – з’єднувальна балка; 5 – робочий візок; 6 – система натягування канатів; 7 – блок, який розпилюють; 8 – алмазні канати; 9 – шкаф керування; 10 – ведучий барабан; 11 – захисний кожух; 12 – двигун привода головного руху; 13 – система подачі води; 14 – система змащування; 15 - система підйому/опускання каната.

Двигуни приводів головного руху та подачі канату мають регулювання інверторами згідно з потрібними режимами розпилювання для конкретного типу граніту чи мармуру. Для кожного канату передбачено індивідуальний гідроциліндр у системі незалежного гідравлічного натягування.

Кожен з канатів контролюється датчиком, який автоматично зупиняє машину, якщо один з канатів обривається.



Рис. 4.85 Барабан з канатами

Один з провідних виробників мультиканатних верстатів є фірма „BM S.R.L.“

На рис. показано верстат мод **KODIAK BM** (залежно від кількості алмазних канатів, що використовуються, поділяються на KODIAK 12 – 12 канатів, KODIAK 20 – 20 канатів і, відповідно, 40, 68, 76, 84 канатів).

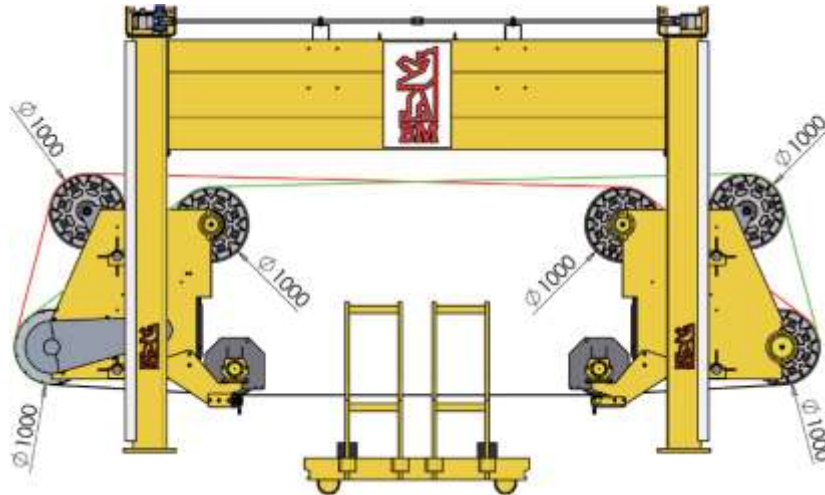


Рис. 4.86 Принципова схема верстату KODIAK BM.

В склад верстату входять ведучий барабан; два барабани скеровування канату; два комплекти холостих коліс; два комплекти коліс натягування; холостий барабан.

Кількість колон верстату, на які спираються барабани з натягнутими канатами – чотири. У конструкціях з двома колонами натягнені алмазні канати мають люфти впливають на несучу систему (каркас) верстату. У ненатягнутому стані канати зсуваються з початкової позиції і після поновлення натягу не повертаються у неї, що зумовлює дефекти розпилювання на поверхні слябу (подряпини, смужки, ступінчастість). Верстат з 4-ма колонами є більш сталим і подібні дефекти відсутні. Досягається підвищення якості й економія абразиву при подальшій обробці слябу (шліфування, полірування), тобто врешті решт зменшується час обробки й собівартість продукції.

На верстаті можна здійснювати розпилювання блоків на сляби різної товщини: передбачено запас канатів та пристрій, який дозволяє ввести додаткові канати або вилучити зайві і розташувати канати потрібним чином у жолобчастих барабанах скеровування канатів (розроблені відповідні довідкові таблиці [22]). Можна отримати сляби товщиною від 20 мм до 100 мм (канат $\varnothing 7$ мм).

Швидкості стандартні: 25 см/год для каменю класу твердості для каменю класу твердості 1-2; 20 см/год для каменю класу твердості 3-4; 15 см/год для каменю класу твердості 5-6.

Мультиканатні верстати виробляє також компанія Pellegrini (рис. 4.87).
[\[https://prom.ua/ua/p646932161-kanatnyj-standok-pellegrini.html\]](https://prom.ua/ua/p646932161-kanatnyj-standok-pellegrini.html)



Рис.4.87 Мультиканатний верстат компанії Pellegrini

10-тиканатний верстат **Pellegrini Decawire** має ведучий барабан (з двигуном) діаметром \varnothing 2350 мм та 10 окремих ведених шківів \varnothing 2000 мм із зручною системою регулювання товщини сляба (ручним переміщенням натяжних роликів вздовж осі й використанням прокладок) та розташованим з боку натягування напрямним барабаном \varnothing 800 мм для забезпечення

точності різання. Алмазні канати приводяться у рух ведучим барабаном (моторним), а кожний канат окремо натягується натяжним роликом-маховиком з використанням запатентованої системи, яка дозволяє використовувати канати, що дещо відрізняються за характеристиками. Система регулювання товщини сляба дозволяє в одному й тому ж циклі здійснювати розпилювання на плити різної товщини: мінімальна – 21 мм, максимальна – 1001 мм – залежно від кількості канатів (для 10 канатів це від 21 мм до 101 мм).

Деякі параметри: діаметр канату \varnothing 8,3 мм, довжина канату 24 м; швидкість різання канатом 0-40 м/с; максимальна ширина заготовки 3,5 м, максимальна висота – 2,1 м, потужність двигуна, керованого інвертором – 7,5 кВт.

Концепція верстату передбачає сталеві вертикальні колони прямокутного перерізу з високою сталістю до згину й скручування і захистом від кам'яного пилю та змінні механічні напрямні для маховиків для забезпечення високої точності.

Канатний верстат Pellegrini Pentawire передбачає використання 5-ти канатів. За загальною концепцією та конструкцією він є аналогічним. Але приводний барабан має серію канавок з кроком 10 мм, які використовують для встановлення потрібної товщини слябу.

Фірма Breton випускає також мультиканатну машину PARAGON для різання трикутним канатом (дротом) [<https://breton-stonemachinery.blogspot.com/2014/09/paragon-new-multiwire-machine-designed.html>].

Машина має 5 обертових барабанів діаметром 1000 мм, що гарантує мінімальну втому дроту. Геометричне розташування за трикутником (рис. 4.88) сприяє забезпеченню жорсткості компоновки. Дроти мають досить незначну довжину – 20 м, що гарантує менші коливання дроту при різанні і, відповідно, підвищує якість різання та збільшує строк експлуатації гумових профілів.

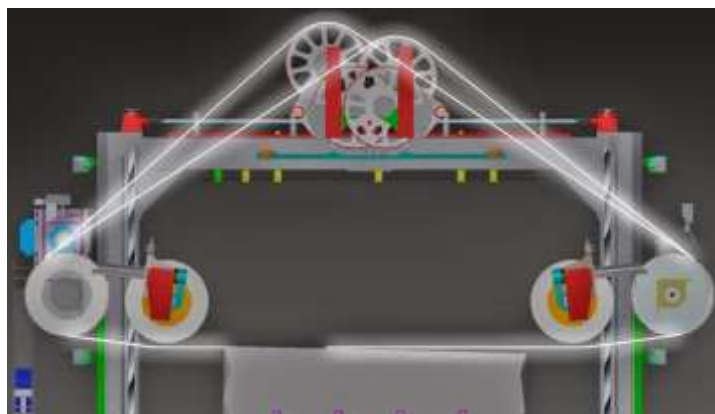


Рис. 4.88 Геометрія розташування шківів та барабанів.

Для натягування дроту використовують обертові шківви – по одному на кожний дріт. Рівномірне й постійне натягування дроту забезпечують окремо одним гідравлічним поршнем.



Рис. 4.89 Барабани, на які встановлюють дріт-інструмент.

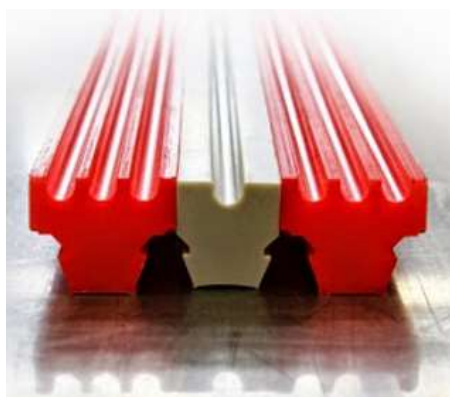


Рис. 4.90 Гумові профілі для дроту

Дріт встановлюють на спеціальний гумовий профіль: трирядний, що чергується з однорядним (має товстіші бічні стінки, розроблений для пиляння деталей товщиною 20 чи 30 мм). Для спрощення монтажу дротів профілі двоколірні.

Для різання гранітних блоків верстат випускають з кількістю дротів від 17 до 70, максимальна ширина різання від 600 мм до 1890 мм.

Барабани і шківви встановлено всередині жорсткої коробчатої сталевій конструкції, яка проходить уздовж несучих колон, які закріплені на фундаменті і стабілізовані сталевими стрижнями від деформації. Це дозволяє використовувати колони майже вдвічі меншого перерізу.

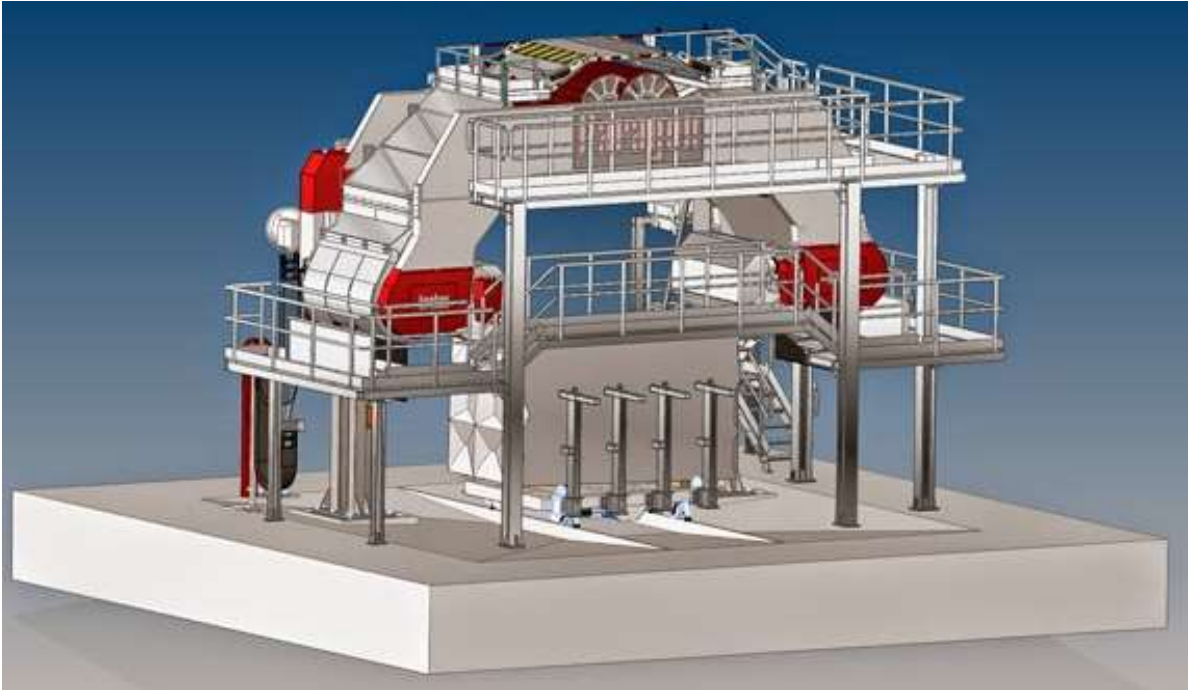


Рис. 4.91 Загальний вигляд машини Breton PARAGON [[breton multiwire cutting granite blocks](#); [Breton Paragon](#); [cut granite blocks](#); [multiwire machine](#)]

В сучасному видобутку мармурових блоків можна найперспективнішим вважати застосування канатно-алмазних пил.

Маятникова **штрипсова рама** у порівнянні з мультиканатною машиною:

- Займає набагато більше місця (в першу чергу за рахунок махового колеса) й вимагає значно більшого фундаменту (понад 250 м³);
- Створює більше шуму й вібрацій;
- Потребує ретельного промивання плит з метою усунення залишків вапна і дробу;
- Передбачає створення на робочому місці запасу штрипсів та дробу (це кілька тон на місяць), запас канатів – кілька десятків кілограмів;
- Якість отриманих плит гірша, ніж при канатному розпилюванні, тобто більш вартісна подальша обробка плит;
- Використовують абразивну пульпу певного складу, а при канатному розпилюванні використовують лише воду для охолодження й у невеликій кількості (15 л/хв на кожний канат);
- Втрати матеріалу при розрізуванні приблизно однакові;
- Швидкість різання граніту штрипсовою пилорамою 2-5 см/год., канатною пилою – 20-40 см/год (обмежується зношенням канату).

Різниця через різні швидкості на одному розпилі граніту: 450 м² на мультіканатному (76 канатів, ширина 2 м) та 97 м² на штрипсовому (130 штрипсів, ширина 3,8 м) за тривалості розпилу 10 год. [22]. Тобто продуктивність на мультіканатному верстаті перевищує продуктивність штрипсового у 4-5 разів. На розпил 1 м² граніту мультіканатний верстат витрачає 3,11 кВт, а багатоштрипсовий – 6,15 кВт [22]. На мультіканатному верстаті досягається економія за рахунок отримання додаткових слябів, бо товщина канату, наприклад, 7 мм, а товщина штрипсу разом з дробом – 9 мм [22]. Тобто одна мультіканатна плита може замінити до 5 штрипсових пилорам, при тому займає менше місця, витрачає менше води та електроенергії, суттєво зменшується кількість обслуговуючого персоналу (і відповідні витрати на заробітну плату), отримуються додаткові сляби.

Вартість алмазно-канатних пил становить 6-7 євро/м² з тенденцією до зниження, а ціна якісної сталі (штрипси, дроб) висока.

Наведені дані підтверджують ефективність та рентабельність розпилювання блоків мультіканатними верстатами.

Тенденція: моноканатні розпилювальні машини витісняють дискові верстати з дисками великих діаметрів, а мультіканатні верстати – традиційні штрипсові пилорами для розпилювання гранітних блоків з підсіпкою вільного абразиву.

При експлуатації канатно-пилних верстатів необхідно враховувати певні особливості. Контактна взаємодія алмазного інструменту з породою при швидкостях до 50 м/с зумовлює суттєве нагрівання робочих елементів канатно-алмазних пил, що може призвести до графітизації алмазних зернин у зоні контакту та до руйнації металевого в'язучого. Для усунення цих явищ у процесі різання застосовують водяне охолодження.

Компанія „Алмир“, ґрунтуючись на своєму досвіді, звертає увагу на особливості експлуатації канатних чи мультіканатних верстатів. Однією з головних умов є наявність професіонально підготованих кадрів (по звуку різання визначає й натягуванню канату визначає параметри процесу для даного блоку), які не порушують умови експлуатації у гонитві за нібито продуктивністю. Тобто й оплата праці не повинна бути договірною (рос. – сдельной) і залежати від виходу продукції.

Правильна експлуатація машини передбачає ретельне очищення й миття та цьому необхідне якісне змащування: цьому присвячують одну зміну на тиждень.

Обов'язково виконувати наступні вимоги [29]:

- Блок встановлювати не на дерев'яний брус, а на гранітний чи цементну балку, бо різання дерев'яного бруса руйнує канат.
- Обов'язково подавати воду для охолодження канату й виведення шламу. Як надмірна, так і недостатня кількість води однаково шкідлива: мало води – зменшується ресурс канату, багато води – канат перестає різати (ефект аквапланирування).
- Забезпечити необхідне натягування канату: недостатнє натягування зумовлює погіршення якості розпилу й зниження продуктивності, занадто велике натягування може призвести до розриву канату. Натягування може змінюватись при затупленні канату або перевищенні швидкості опускання для конкретного каменю.
- Забезпечити лінійну швидкість колового руху канату: м'який, неабразивний матеріал – висока швидкість (до 35 м/с); граніт середньої твердості – 25-28 м/с; твердий граніт – 20-22 м/с. Зменшення лінійної швидкості сприяє загостренню канату, збільшує продуктивність, але значно зменшує ресурс. Велика лінійна швидкість викликає затуплення канату (рос. – „засаливание“), зменшення продуктивності й розрив канату.
- Подача (опускання) канату у першому наближенні залежить від довжини блоку: при довжині блоку 1 м – це 60 см/год, при довжині 3 м – не більш за 20 см/год. Починають з опускання 10 см/год і поступово збільшують до робочих параметрів.

Також необхідно забезпечити якісне з'єднання канату та контроль зношення напрямних барабанів обертання канату та загального технічного стану верстату (механічних люфтів, підшипників (SKF, Швеція або NJK, Японія), зубчастих рейок).

На рис. 4.92 показано циркульну канатну пилу SL/SL WX для вирізування круглих отворів, колових чи дугоподібних розрізів та обробки дискових плит. Діаметр різку 500-2500 мм. Довжина канату 4-6,2 м, діаметр 10-11 мм. Застосовують обертальний натягувач канату.

Принцип роботи **рухомих канатних верстатів** полягає в тому, що кільце канату охоплює блок, який розпилюють. Канат обертається, підтягується приводом і зменшується в довжині. Подача здійснюється втягуванням канату в середину верстата. Канатна петля протягується через камінь, який розрізують. Глибина різання обмежується довжиною каната.

Прикладом подібного верстата є міні-канатна машина WS-11X (рис. 4.93)

Канатна машина **WS-11X** призначена для пасирування й розпилювання кам'яних блоків та відокремлення від масиву невеликих монолітів алмазним канатом, тобто передбачено використання як у каменеобробних цехах, так і у кар'єрах.

Має виносний пункт керування з регулюванням обертів маховика з метою забезпечення оптимальних режимів різання. Встановлено захист від перевантаження. У стартове положення здійснюється подача по напрямних за допомогою лебідки.



Рис. 4.92 Циркульна канатна пила [<http://sevitool.com.ua/ru/>]



Рис. 4.93 Пересувна міні-канатна машина WS-11X.

<http://cubimport.com.ua/oborudovanie/porezochnye-stanki/mini-kanatnaya-mashina-ws-11x>



Рис. 4.94 Пристрій Sector Top M50-M60

Деякі технічні параметри: продуктивність різання граніту – 2-4 м²/год., довжина канату – 10 м, діаметр маховика – Ø500 мм, лінійна швидкість канату – 36 м/с, потужність двигуна головного руху 11 кВт.

Пристрій Sector Top M50-M60 (рис. 4.94) призначений для різання алмазним дротом мармуру, пісковика та інших порід також відноситься до рухомих канатних пил, так само як і горизонтальна канатна пила (рис. 4.95)

На рис. 4.96 показано компонувки та конструктивне виконання каркасів з натяжними й напрямними шківками пересувних верстатів (пила), на яких в якості інструменту часто використовується алмазний дріт: для кар'єрних робіт, для різання, зокрема бетону, а також для застосування не як пили, а з шліфувальною стрічкою, може мати різне розташування приводного шківки та напрямних дисків, привод має електричний або гідравлічний призначений для різання алмазним дротом мармуру, пісковика та інших порід також відноситься до рухомих канатних пил, так само як і горизонтальна канатна пила (рис.4.95)



Рис. 4.95 Канатна пила (фірма Team-D, Китай)



Рис.4.96 Різні варіанти компоновок дротяних та канатних пильних верстатів виробництва компанії Team-D, Китай [<http://russian.wiresaw-machine.com>]. Зображено загальний вигляд верстатів та приклади каркасів із напрямними роликками.

Отож конструктивно канатнопильний верстат або інше обладнання (наприклад, настінне) – це модуль, який складається із системи роликів з електричним або гідравлічним приводом.



Рис. 4.97 Канатно пильний модуль

На рис. 4.97 показано компактний гідравлічний канатнопильний модуль **TYROLIT HYDROSTRESS SK-B** (фірма-виробник **TYROLIT**, Австрія) з канатом \varnothing 10-11 мм довжиною 7,5 м. Довжина різки з одного встановлення 5,5 м. Приводні ролики \varnothing 200 мм. Вага із стійкою – 87 кг. Є ефективною за щоденного використання: суттєва економія часу при встановленні стійки й заправленні канату.

Стрічкопильні верстати використовують переважно як допоміжне обладнання для виробництва виробів складної форми. Як і канатнопильні, є швидкісними (30-40 м/с для мармуру), але стрічкові пили мають жорсткість дещо вищу, тож їх можна використовувати для розпилювання твердих порід (швидкість 20-26 м/с).

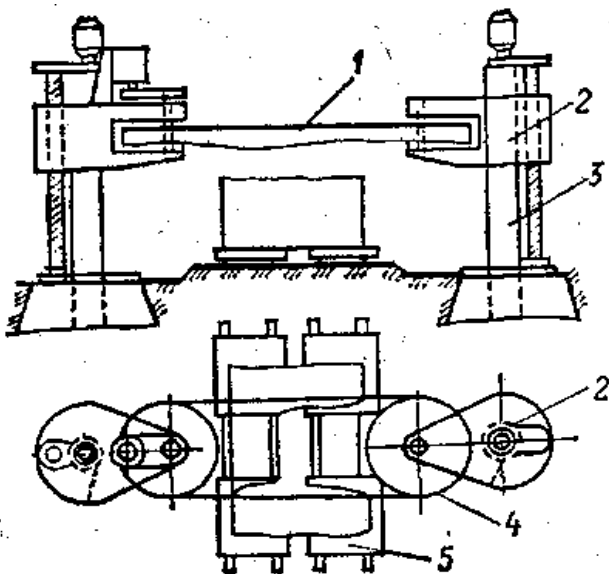


Рис. 4.98 Принципова схема стрічкопильного верстата. Позначено: 1 – станина; 2 – привод виконавчого органа; 3 – привод механізму робочої подачі; 4 – виконавчий орган; 5 – робочий стіл [30].

Конструктивно стрічкопильні верстати подібні стаціонарним канатнопильним. За конструкцією пильної рами поділяються на порталні, мостові й консольні. Наприклад, порталний верстат має дві колони, по яким переміщується вертикально система з двох шківів (ведучого й веденого).

Експлуатаційна надійність інструменту невисока. Недоліком є також неможливість одночасного використання великої кількості пил. Обов'язкова умова – використання шківів великого діаметра – 1800-2200 мм, щоб зменшити вплив перегинів стрічки на її довговічність.

Стрічкові алмазні пили мають малу товщину, тож скорочуються втрати сировини, енергоємність, витрата алмазів. Щоб запобігти уводу пили збільшують натяг стрічки (250-350 Н/мм² – контролюють при експлуатації) або зменшують подачу.

Алмазно-стрічкові верстати мають переваги навіть щодо дискових розпилювальних, але їх застосування обмежується через відсутність працездатного ріжучого інструменту – сталевих стрічок довжиною 10-18 м.

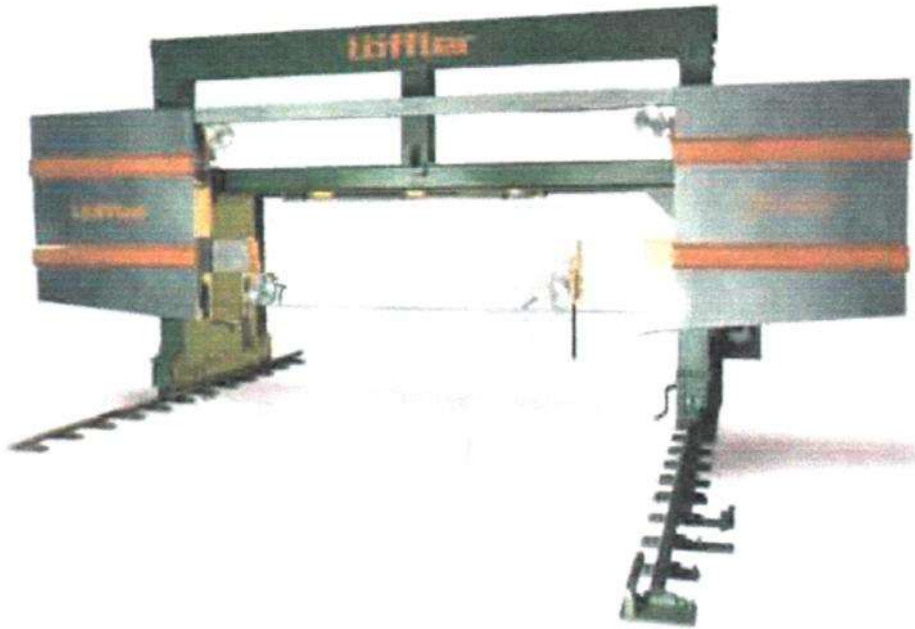


Рис. 4.99 Стрічкопилний верстат з горизонтальними шківів та вертикальною ріжучою пилою (фірма Loffler, Німеччина).

За орієнтацією інструмента у просторі – 3 групи верстатів (рис. 4.100):

1. Шківів розташовані у горизонтальній площині, а робоча гілка стрічки – в вертикальній (БС 2000 фірми „Карл Майер“, фірми Loffler (рис 4.97)).

2. Шківів розташовані у вертикальній площині, а робоча гілка – в горизонтальній (263, фірма „Карл Майер“).

3. Шківів й робоча гілка стрічки розташовані у вертикальній площині (СН 220, фірма „Альге“).

Найчастіше використовують верстати 1-ої групи. Робоча подача забезпечується опусканням шківів із стрічкою на розпилюваний блок.

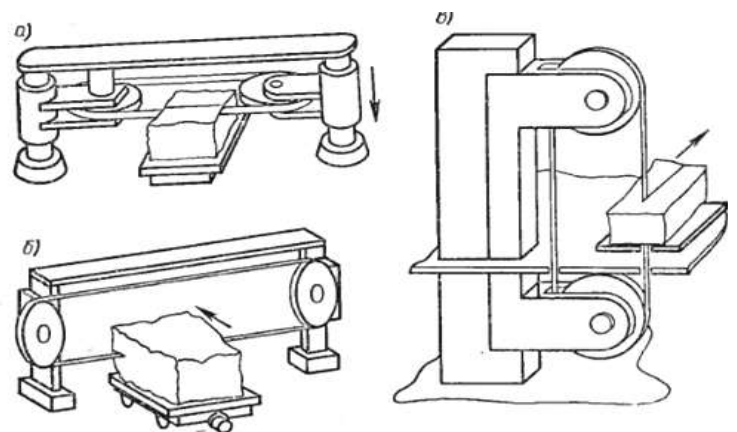


Рис. 4.100 Стрічкопилні верстати [1]:
а) – з горизонтальними шківів та вертикальною ріжучою пилою; б) – з вертикальними шківів та горизонтальною ріжучою пилою; в) – з вертикальними шківів та вертикальною ріжучою пилою.

У верстатах 2-ої та 3-ої груп робоча подача досягається горизонтальним переміщенням стола з блоком гідравлічним або електричним приводом подачі.

У зону різання під тиском подається вода, яка створює водяну „подушку“ й зменшує тертя. Це дозволяє інтенсифікувати режими різання, тож підвищити продуктивність, але значні витрати води є недоліком цього виду верстатів.

Стрічкові пили для розпилювання каменю у вітчизняній практиці майже не застосовуються.

Барові розпилювальні верстати призначені для розпилювання каменю малої міцності. Інструмент – жорсткі барові твердосплавні пили, основний недолік яких – необхідність багатократного переточування різальних елементів. Але попри це для м'якого каменю процес економічно виправданий, бо продуктивність на рівні розпилювання алмазним інструментом.

Недоліком є невисока швидкість різання та значна ширина пропилу, тому їх доцільно застосовувати при добуванні каменю, а не при обробці.

Великогабаритні використовують для обробки об'ємних заготовок (східці, бортові камені, деталі цоколя, тощо) з туфу, базальту і т.д.

Особливість обладнання з баровими твердосплавними пилами – наявність плавного регулювання режимів розпилювання (швидкості різання в межах 0-4 м/с з використанням інвертора й робочої подачі – 3-10 мм/год залежно від розрізуваного матеріалу). Режим розпилювання зберігається при зношенні різців в межах до 50 % їх номінального розміру. Обов'язкова умова сприятливого режиму різання – дотримання однакової висоти й ширини всіх різців кожного типу, тобто при зношуванні замінюють всі різці кожного типу. Особливу увагу слід приділяти правильному загостренню найширших (зачисних) різців пили, бо вони визначають ширину пропилу, зменшення якої може зумовити заклинювання.

На ефективність розпилювання впливає натяг ланцюга пили, який контролюють за його провисанням щодо корпусу (для ланцюга з довжиною робочої частини 1,5-1,8 м за раціонального натягування – 80-100 мм). Обов'язковою є подача охолоджувальної рідини (води) у зону різання. Первинна стадія розпилювання (до повного заходу пили у камінь) здійснюється на швидкостях різання й подачі на рівні 20-30 % раціональних значень. При різанні пилу постійно змащують.

Барові пили для розпилювання каменю у вітчизняній практиці майже не застосовуються. Обмежено використовують верстати закордонні, найширше – фірм „Фернан-Перье“ й „Вамо“ (Франція).

У СНД, Бельгії, Італії, Німеччині, Франції та Швейцарії ведуться роботи з розробки технології алмазно-барового розпилювання, особливістю якого є висока швидкість різання (до 25-40 м/с), незначна ширина пропилу (до 20-22 мм). В перспективі алмазно-барове розпилювання могло б замінити вартісне розпилювання дисковими алмазними пилами великого діаметра (до 3 м та вище).

За компоновкою барові верстати поділяють на порталні (двокоординатні), мостові, консольні (рис. 4.101).

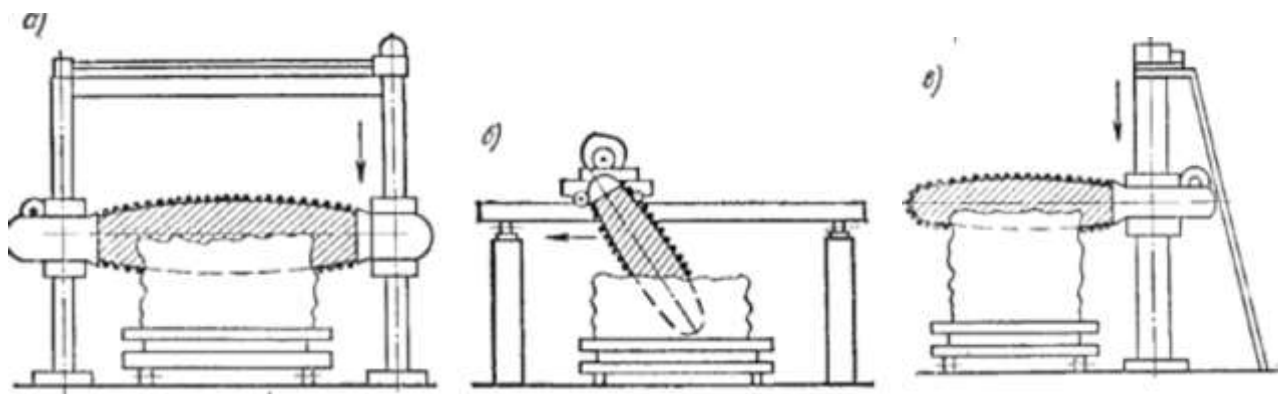


Рис. 4.101 Барові верстати: а) – порталні (двокоординатні); б) – мостові; в) – консольні [33].

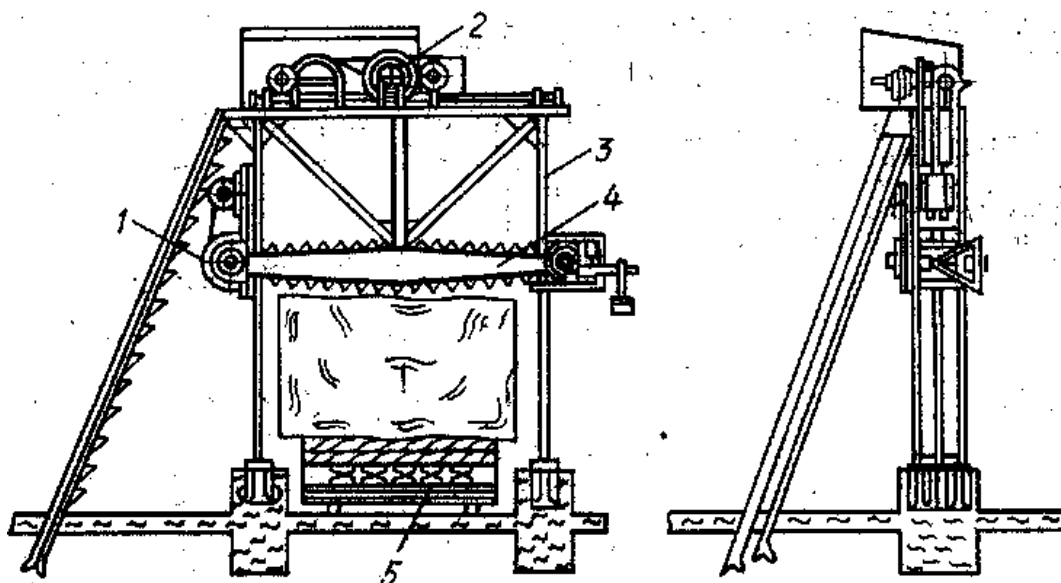


Рис. 4.102 Принципова схема барового верстата [30].

Позначено: 1 – привод виконавчого органа; 2 – привод механізму робочої подачі; 3 – станина; 4 – виконавчий орган; 5 – робочий стіл.



Рис. 4.103 Розпилювання блоку баровою пилою.

Основна частина браку при розпилюванні (до 70 %) – це різнотовщинність, клиновидність, неплотинність плит та низька якість поверхні розпилу. Найчастіша причина – увод пил та порушення технології (перевищення швидкості подачі, послаблення натягу штрипсових пил, незадовільне кріплення каменю на візку).

При розпилюванні отримують плити-заготовки, тобто частина браку може бути усунена на наступних операціях (перш за все при грубій шліфовці).

Розпилювання з обкантовуванням з 2-х або 4-ох боків на багатодискових ортогональних та одновалових верстатах може призводити до сколювання кромки та кутів, що зумовлює необхідність обкантовування на менший розмір, тобто зростає обсяг робіт і зменшується вихід продукції з блока.

4.2.4 Різання гідроабразивним струменем води

Є однією з нових технологій каменеобробки.

Існують гідрорізання й гідроабразивне різання.

Розроблено спосіб обробки каменю високошвидкісним водяним струменем, який подають під тиском більше за 10 МПа через сопло діаметром кілька міліметрів (**гідрорізання**). За рахунок кінетичної енергії струмінь прорізує камінь за один прохід на глибину до 4 см. Умовою якісної обробки є повне усунення завихрення струменю після виходу із сопла, що досягається спеціальним складом рідини. Швидкість різання каменю зростає, якщо на невеликій відстані від сопла у воду подається пісок, дрібна чавунна січка та ін. нерозчинні добавки. Якщо поєднати водяний струмінь з електрогідравлічним

ефектом, що супроводжує пульсацію струменю до 300-3000 імпульсів у хвилину, то можна ефективно зруйнувати породу будь-якої міцності. За даними досліджень продуктивність різання граніту досягає 5 м²/год, за зміну можна зрізати стрічку товщиною 3-5см і довжиною 5000 м. Зараз спосіб є енергоємним, а обладнання складним, але у майбутньому його чекають гарні перспективи.

Режим водоструминного різання можна інтенсифікувати підведенням до струминної головки холодоагенту, який зумовлює утворення у струмені крижинок, які поліпшують абразивні властивості.

Наявність абразиву в струмені (**гідроабразивне різання**) розширює технологічні можливості, дає можливість різати тверді й важкооброблювані камені значної товщини. Тобто маємо справу з ерозійним впливом на оброблюваний матеріал високошвидкісного водяного струменю, який є носієм, та твердих абразивних часточок.

Для різання використовують воду під тиском 4000 атм (400 МПа), яка проходить крізь сопло, чим створюється струмінь діаметром близько 0,08-0,5 мм, й надходить у змішувач. Абразив (частки розміром близько 0,4 мм, 10-30% діаметру різального струменю) з водою проходить через друге сопло (твердосплавне) діаметром 1 мм, звідки струмінь води з абразивом виходить із швидкістю близько 1200 м/с й здійснює різання. Залишкова енергія струменю гаситься спеціальною водяною пасткою.

Такі компоненти як вода та, наприклад, кварцевий пісок в якості абразиву роблять обробку доступною.

Гідроабразивні установки існують у стаціонарному варіанті та пересувні. Цей метод простий, універсальний, бо на одному й тому ж обладнанні можна виконувати розрізування різних матеріалів, забезпечує досить високу точність – найвищу точність позиціонування забезпечують верстати лідера по виробництву водоструминного обладнання групи Flow International Corporation (США) – порядку 0,07-0,08 мм. Основною перевагою методу гідроабразивного різання перед механічним, лазерним та плазмовим є низька температура різки – жодна інша технологія не забезпечує відсутність термічного впливу на камінь поблизу пропилю (термічні деформації, оплавлений шар та грат), тож кромки зрізу не вимагають додаткової обробки. Ударне навантаження на виріб незначне, тож між виробом та інструментом немає безпосереднього контакту, низьке тангенціальне зусилля

дозволяє у певних випадках обійтися без затискних пристроїв. Процес вибухо- й пожежобезпечний. Гідроабразивне різання дозволяє продуктивно й точно вирізати деталі із складним профілем. Процес є економічним завдяки високій швидкості різання, яка забезпечується у широкому діапазоні (від 1 мм/хв. до 30000 мм/хв.), малій ширині різку. незначному споживанню води (3-4 л/хв.) [1]. Нема потреби у попередній обробці матеріалу, відсутні відходи каменю, не утворюються шкідливі гази та випаровування.

Недоліками методу є конструктивні труднощі при створенні високого тиску рідини, досить низька стійкість сопла й складність його виготовлення, висока енергоємність, досить висока вартість.

Обладнання гідроструминного різання досить широко представлене на українському ринку продукцією спеціалізованих закордонних фірм – американських (Quarry Jet, NED corp., Flow International Corporation), шведських (Water Jet Sweden AB, ESAB Welding & Cutting Productions), італійських (Pellegrini – випускає установки марок „Pel Jet“, „Water Jet s.r.l.“), швейцарських (Bystronic), німецьких (Trenntec, Trumpf, Sato Schneidsysteme)) тощо. Можна навести й вітчизняних виробників, які спеціалізуються саме на гідроабразивному обладнанні для каменеобробки (наприклад, ЧП „РОДЕНЬ“, м. Черкаси [<http://www.roden.ck.ua/>]).

Верстати гідроабразивного різання за конструктивним виконанням поділяються на мостові й консольні, можуть мати одну робочу головку (сопло) або декілька, виконувати дво- та тривимірне різання (з програмним керуванням), мають додаткове оснащення (наприклад, відеооптична система спостереження). Різуча головка встановлюється на пристрої позиціонування координатного столу і може переміщатися за допомогою електроприводів за трьома координатами з робочими ходами, зумовленими габаритами координатного столу.

Гідроструминним різанням виготовляють художні мармурові та гранітні вироби для оздоблення інтер'єрів і фасадів будівель, здійснюють швидке та якісне розкроювання і виготовлення несерійних виробів із каменю.

4.3 Шліфувально-полірувальні верстати

Шліфувально-полірувальні верстати призначені для абразивної фактурної обробки – шліфування, лоціння, полірування лицьової поверхні облицювальних виробів. За технологічними можливостями, конструктивним виконанням та особливостям роботи вони складають найбільш різноманітний клас каменеобробного обладнання.

Залежно від використовуваного інструменту розрізняють шліфування вільним чи зв'язаним (абразивні круги) абразивом, які відрізняються мікроструктурою обробленої поверхні. Поверхня, оброблена зв'язаним абразивом, має рівномірну шорсткість, а після шліфування кругом лишаються певним чином скеровані сліди обробки. Зараз переважає обробка зв'язаним абразивом. Механізм руйнування каменю аналогічний до процесу дискового розпилювання алмазним кругом, але кут контакту складає 180° . Схеми роботи інструмента наведені на рис. 4.104 [30].

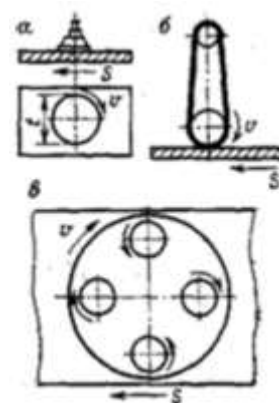


Рис. 4.104 Схеми рухів при шліфуванні:
а) – торцевому;
б) – стрічковому;
в) – планетарному.



Рис. 4.105 Радіально консольний шліфувально-полірувальний верстат (шарнірно-колонковий).
<http://sawwood.ru/other/2393>.

В каменеобробці в основному використовують пласке шліфування торцем круга, останнім часом – стрічкове. Використовують також планетарний рух шліфувального круга, який складається з високошвидкісного обертання круга та складної траєкторії руху інструмента, що утворюється обертанням ферриси з одночасним її поступальним рухом. Забезпечує підвищення продуктивності та якості обробки порівняно із торцевим шліфуванням.

За конструкціями поділяються на 5 груп.

Портальні – найважчі, для обробки облицювальних плит та будівельних виробів, в основному з міцного каменю, зокрема з граніту.

Портальні верстати можуть мати рухомий портал (рис. 4.106, б) або рухомий стіл (рис. 4.106, а).

На порталі знаходиться шпиндельний вузол з робочою головкою, в якій закріплено інструмент. Шпиндельний вузол з інструментальною головкою може

здійснювати поперечні прямолінійні чи коливальні рухи або є нерухомим. Можуть мати напівпортал (Г-подібна компоновка), який рухається по напрямних, що розташовані на різній висоті – на підлозі та на опорній стіні. Можуть мати револьверні головки, які здійснюють зміну шліфувальних кругів різної зернистості.

Мостові – найрозповсюдженіші. Робочий хід моста – до 3 м. Конструктивно подібні до порталних, але мають менші габарити. Мають порівняно незначну металоємність за великої довжини заготовки. Як інструмент використовують шліфувальні планетарні головки діаметром до 500 мм. Забезпечується інтенсивне знімання поверхні каменю при тому, що швидкість обертання шпинделя невисока. Робоча головка із шпинделем з'єднується шарнірно, забезпечується тиск на оброблювану поверхню. Найчастіше оброблюють мармурові плити. Інструменти – алмазні шліфувальні круги та головки.

Шарнірно-колонкові (радіально-консольні) мають шпиндельний вузол, встановлений на радіальній двоплечій консолі, яка шарнірно закріплена на колоні (рис. 4.106, е) або кронштейні, що його закріплено на стіні (рис. 4.106, ж). Кронштейн може мати рух по напрямних стіни. Мають часто не один стіл, а два – для скорочення часу перевстановлення. До переваг цього обладнання відноситься конструктивна та експлуатаційна простота, невисокі металоємність та вартість, можливість забезпечити якісну обробку. Недоліком є досить значні зусилля для переміщення вручну шпиндельного вузла, а іноді й на притискання інструмента до каменю.

Ці верстати намагаються механізувати, оснащують спеціальними пантографами для переміщення шпиндельного вузла.

Конвеєрні верстати відрізняються наявністю транспортера або конвеєра для подачі заготовок (відіграє роль стола) і характеризуються одночасним поздовжнім переміщенням виробу на транспортері та поперечним переміщенням шпинделя, іноді з похитуванням (осциляцією). Тому відпадає потреба у змінюванні траєкторії руху. Системи автоматичного управління забезпечують роботу шпиндельного вузла у стрибаючому режимі: інструмент плавно опускається на заготовку, по закінченні – піднімається. Такий режим дозволяє оброблювати в одному потоці заготовки різної товщини і зменшується зношення круга.

За компоновкою ці верстати можуть бути порталними, мостовими чи консольними (тобто мають різне виконання станини і кріплення шпиндельного вузла). Є багатошпиндельними агрегатами: мають кілька шпиндельних головок, що працюють в

автоматичному режимі (з автоматичним рухом, наприклад, по порталу). Гвинтові механізми дозволяють встановлювати головки (за винятком першої, яка не змінює свого положення) на потрібну ширину.

Входять у циклічні поточні лінії. Мають дуже різноманітні виконання: (верстати фірм „Карл Майер“ (Німеччина); „Бретон“, „Терцаго“, „Педріні“ та „Бра“ (Італія) та ін.). Конвеєри використовують пластинчасті або стрічкові. До конвеєрів додається натяжна станція та механізми приводу шківів

Верстати мають спільний для всіх шпindelних вузлів міст, який може бути розташований перпендикулярно або паралельно (рис. 4.106, к) відносно поздовжньої подачі. Шпindelні вузли можуть рухатися відносно мосту у поперечному напрямку або бути нерухомими, а сам міст здійснює поперечні зворотно-поступальні рухи. В деяких моделях поперечні рухи виконує сам конвеєр.

Головна перевага конвеєрних верстатів – висока продуктивність за рахунок безперервно-поточного методу роботи. Недолік: складність обконтуровування.

Конвеєрні верстати консольного виконання (рис. 4.106, л) переважно мають індивідуальні стойки, на яких розташовано шпindelні вузли, що є нерухомими чи злегка похитуються. Перевагою є висока продуктивність завдяки поточно-безперервній роботі та значному рівню автоматизації.

Переносні верстати є портативним обладнанням – переносні машинки (рис. 4.106, м) чи настільні (рис. 4.106, н) верстати. Переносні машинки – це електродвигун, який пов’язано гнучким валом із робочою головкою, що може мати різне конструктивне виконання і яку робітник тримає в руках. Перевагою є можливість обробки виробу необмежених розмірів при простоті конструкції. Іноді двигун з’єднано безпосередньо з головкою, але це незручно через вагу пристрою.

Верстати **спеціальної конструкції** – це обладнання для шліфування-полірування торців та фасок. Компонувально найчастіше це верстати консольні чи конвеєрні, переважно з розташуванням шпинделя горизонтально або під кутом до вертикалі.

Всі верстати вимагають охолодження. Вода також вимиває продукти руйнації. Окрім того має фізико-хімічний вплив на міцність каменю, що прискорює шліфування.

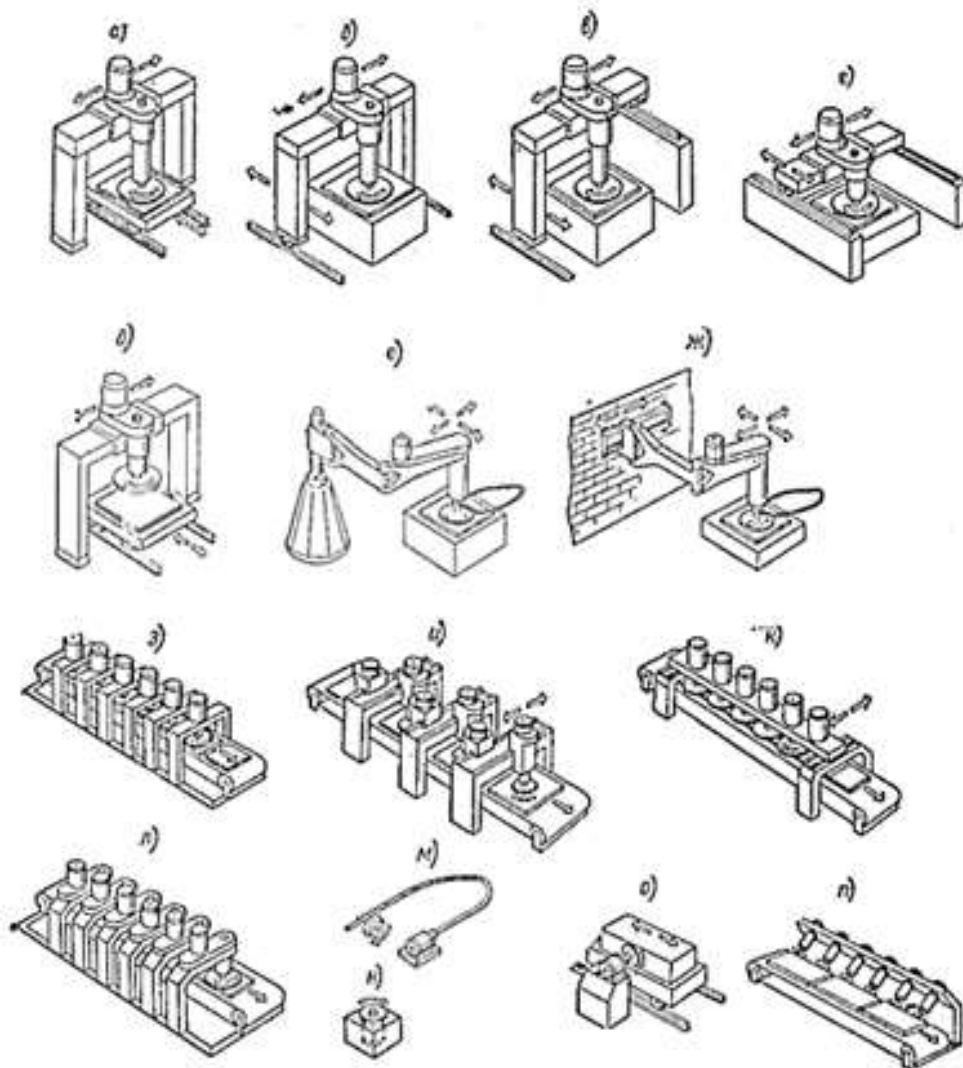


Рис. 4.106 Основні типи шліфувально-полірувальних верстатів.
[https://sinref.ru/000_uchebniki/04400proizvodstvo/004_shlifofal_raboti_po_kamnu/007.htm]

Розрізняють жорстке та пружне шліфування. За жорсткого шліфування вхідними елементами є глибина шліфування та інші параметри різання, за пружного – питомий тиск інструмента на заготовку, від якого залежить глибина шліфування та інші параметри різання.

Більш поширеним є пружне шліфування, бо забезпечує кращі умови різання й постійні умови роботи абразивних зернин. Постійний тиск забезпечує постійну глибину різання. При змінюванні умов (зношення абразивного інструменту або зростання твердості каменю) зменшується глибина занурення, тобто зберігаються умови різання.

При поліруванні відбувається одночасний механічний й фізико-хімічний вплив полірувальника, поліруючої речовини та води на лощену поверхню каменю: згладжуються мікронерівності, утворюється захисна плівка.

Щоб забезпечити потрібну чистоту поверхні, головка, окрім обертання та подачі, отримує допоміжні рухи різного типу: зворотно-поступальний, зигзагоподібний, планетарний, коливальний, хитання тощо. Допоміжні рухи покращують якість та скорочують час обробки.

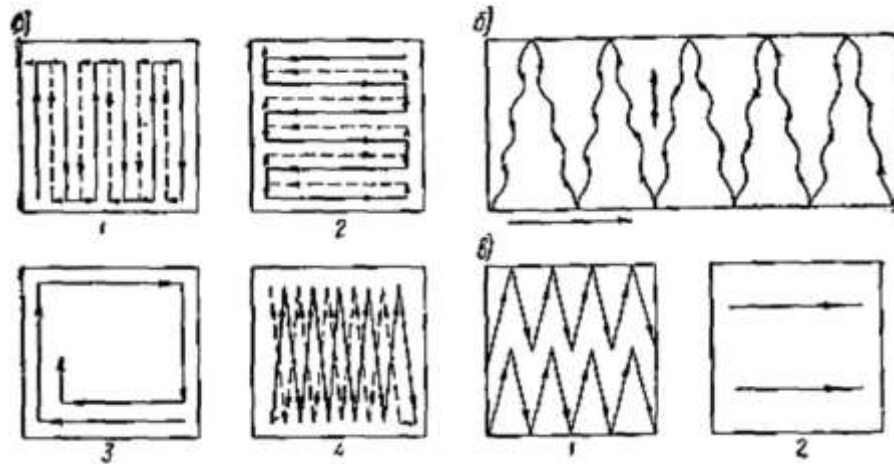


Рис. 4.107 Траєкторії переміщення шліфувального інструменту: а) – на мостових верстатах; б) – на конвеєрних верстатах; в) – на конвеєрних двошпindelних [34].

Основні форми траєкторій переміщення інструмента по оброблюваній поверхні – рис. 4.107, а (1, 2, 3, 4). Наприклад, у мостовому верстаті СМР-013 передбачені програми автоматичного переміщення інструмента в одному циклі обробки за траєкторіями 1, 2, та 3 (в режимі без зупинок). Необхідність послідовної зміни траєкторій зумовлена тим, що ряд моделей верстатів реалізує обробку нерухомої заготовки (рухається каретка із шпindelним вузлом відносно нерухомого моста чи рухається міст без подачі шпindelного вузла) і необхідним є усунення з поверхні слідів попередньої операції. У конвеєрних верстатів обробка здійснюється за одночасного поперечного переміщення шпindelного вузла (іноді з похитуванням) та поздовжнього переміщення оброблюваного виробу, розташованого на транспортері.

На рис. 4.108, 4.109 показано можливі конструктивні виконання шпindelного вузла.

На більшості мостових, коліно-важільних і конвеєрних верстатів інструмент закріплюється введенням штифтів спеціальної форми у фігурні пази, виконані у фланці на зворотній стороні корпусу, та наступним поворотом (байонетне з'єднання). На практиці шліфувальний круг вкладають робочою поверхнею на стіл, опускають шпindel, вводять штифти у пази, вмикають привод і тим при обертанні закріплюють круг на головці шпинделя. Тривалість цієї операції менше 1 хв. На порталних верстатах використовують індивідуальне кріплення до робочої головки, наприклад, гвинтами.

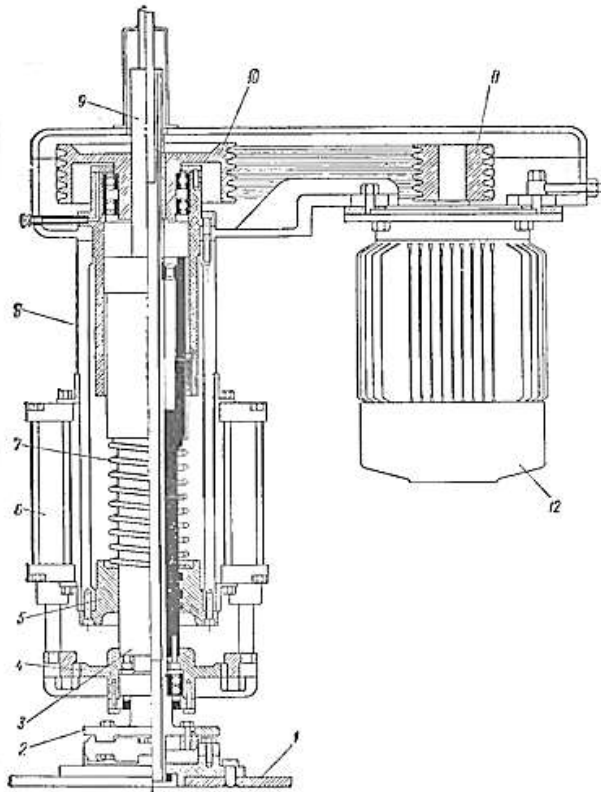


Рис. 4.108 Шпиндельний вузол верстата ЛАУ-8. Позначено:
1 – корпус шліфувального круга;
2 – робоча головка; 3 – шпиндель; 4 – кронштейн (траверса);
5 – опорна гайка; 6 – пневмоциліндр; 7 – пружина; 8 – корпус; 9 – трубка водяного охолодження;
10 – ведений шків; 11 – ведучий шків; 12 – електродвигун.

Обдирний інструмент кріпиться до шпинделя верстату жорстко, однак між фланцями шпинделя та планшайбою розташовують пружну прокладку з гуми, що забезпечує можливість незначних відхилень робочої поверхні інструмента від горизонтальної площини.

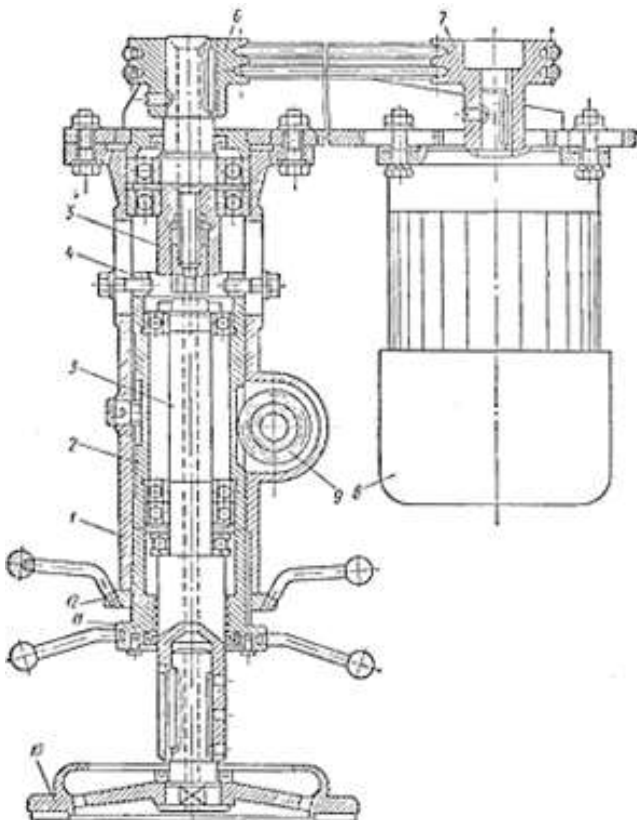


Рис. 4.109 Шпиндельний вузол верстата М-011. Позначено: 1 – корпус; 2 – піноль; 3 – шпиндель; 4 – опорне напівкільце; 5 – проміжний вал; 6 – ведений шків; 7 – ведучий шків; 8 – електродвигун; 9 – рейкове колесо; 10 – корпус шліфувального круга; 11 – опорна втулка (обмежувач опускання пінолі); 12 – контргайка.



Рис. 4.110 Планетарна шліфувальна машина.

Застосовують також так звані планетарні шліфувальні машини, на яких шліфувальні елементи встановлюють на рухомі планшайби, що їх закріплюють на основному диску з регульованим напрямом обертання. Передбачається керування опором (при обертанні в одному напрямі тиск зменшується), що особливо актуально у випадку полірування. Складна траєкторія руху покращує якість шліфування або полірування

(відсутні кільцеві сліди обробки) порівняно, наприклад, з мостовими чи порталними верстатами за умови однакових характеристик алмазного інструменту. За однакової приводної потужності забезпечують більшу продуктивність [<https://diamalmaz.ru/img/files/articles/2017/12.2017/article-planetarnye-mashiny-title.jpg>].

Деякі приклади верстатів.

Автоматичний **мостовий одноголовковий** (одношпиндельний) полірувальний верстат QDM 900/1200/1800 має 3 модифікації за шириною поверхні, яку полірують (відповідно, 900, 1500, 1800 мм). Максимальний розмір по довжині 3000 мм. Полірувальна обертова головка верстата рухається по балці порталу на ширину полірування. Робочий стіл переміщує оброблювану плиту перпендикулярно порталу. Деякі параметри: кутова швидкість полірувальної головки 560 об/хв., швидкість переміщення по порталу 0-5600 мм/хв, швидкість переміщення робочого стола 0-4300 мм/хв, робочий тиск на інструмент 0,35-0,5 МПа, потужність двигуна головного руху 15 кВт витрати води – 4 м³/год, вихід полірованої продукції від 2-2,5 до 3-3,5 м²/год (залежно від модифікації).



Рис. 4.111 Автоматичний полірувальний верстат QDM 900 (WANLONG, Китай).

Призначений для шліфування і полірування слябів з граніту й мармуру: відповідно встановлюють різні типи полірувальних головок. Глянець при поліруванні сягає 80 % та вище.

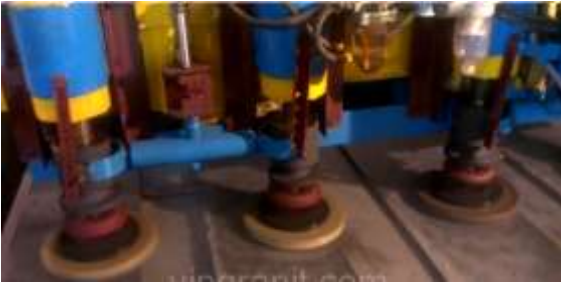


Рис. 4.112 Автоматичний верстат для полірування граніту

Як приклади **багатоголовкових мостових** верстатів можна навести наступні.

Автоматичний чотиришпindelний верстат мостового типу для полірування граніту має пневматичне притискання інструменту, потребує однакового розміру оброблюваної поверхні (може складатися з кількох деталей)

Режим роботи (алгоритм та швидкість рухів, сила притискання інструменту і т. ін.) регульовані. Верстат має продуктивність, яка залежить від виду граніту та використовуваного інструменту (для габро, наприклад, це 50 м² за зміну). Виробник пропонує виготовлення верстату за вимогами замовника.

Автоматичний полірувальний багатоголовковий верстат серії ZDMJ дозволяє полірувати одночасно кілька деталей приблизно однакового розміру, що збільшує продуктивність у 4-7 разів (залежно від кількості головок – 4, 5



Рис. 4.113 Автоматичний полірувальний багатоголовковий верстат серії ZDMJ

або 6, відповідно, верстати ZDMJ- 4, ZDMJ- 5, ZDMJ- 6). Максимальна площа полірування 3500×1400 мм, 3500×1050 мм, 3500×850 мм (відповідно до моделі), мінімальна товщина заготовки 10 мм. Інструмент стандартний Ø 250-320 мм. Витрати води 16, 20, 24 м³/год. [<https://prom.ua/ua/p2622292-avtomaticheskij-mnogogolovochnyj-polirovochnyj.html>].

Машини для полірування мармуру компанії Eaststar (Китай) мають від 4-х до 12-ти полірувальних головок, а у іншій серії від 16-ти до 20-ти.

Верстат **шарнірно-колонковий** (коліно-важільний) шліфувально-полірувальний MS2600/3000 (http://www.wanlongstone.ru/stone-polishing-machines/2018_19.html, WANLONG, Китай) для обробки граніту й мармуру, а також штучного каменю у ручному режимі. На верстаті можна виконувати також калібрування, бучардування, очищення каменю, спеціальні види обробки „під шкіру“ та „під античність“.



Рис. 4.114 Полірувальний верстат MS2600/3000 (WANLONG, Китай)

Змонтовано верстат на масивній несучій колоні, що демпфірує вібрації при обробці. Має механічне притискання інструменту (планшайба „Франкфурт“ $\varnothing 300$ мм (на 3 сегменти) із пластиковим супортом та алюмінієвими напрямними для кріплення).



а)



б)

Рис. 4.115 Планшайба „Франкфурт“ (а – супорт, б – напрямні)

Деякі параметри: довжина оброблюваної деталі 2600/3000 мм, ширина 900-1200 мм, діапазон підйому-опускання головки верстата 0-800 мм, діаметр полірувального диску 220 мм, потужність двигуна головного руху 4,5/5,5 кВт, швидкість обертання шпинделя 960 об/хв, потужність двигуна подачі 0,55 кВт.

Шліфувально-полірувальний конвеєрний верстат СМР-006 (з-д „Строммашина“, Ленінакан, ССРСР), кінематична схема якого показана на рис.4.98, призначений для фактурної обробки прямокутних облицювальних деталей (плит, брусків, дошок тощо) із м'якого мармуру та інших порід та порід середньої твердості.

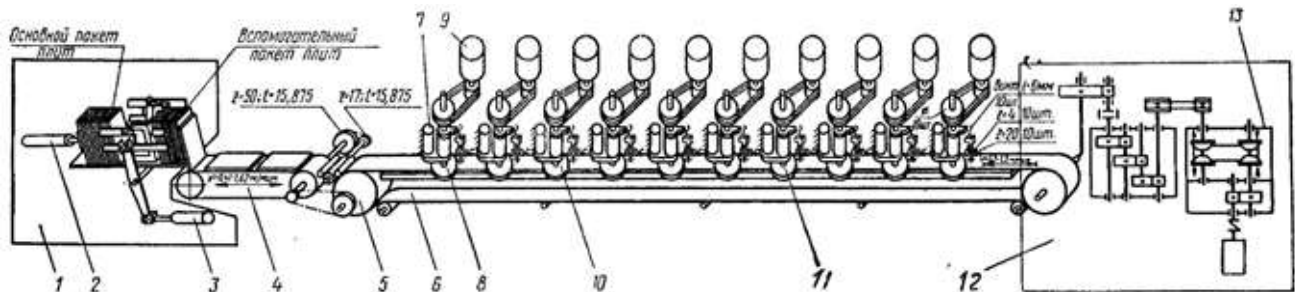


Рис. 4.116 Кінематична схема шліфувально-полірувального верстату СМР-006. Позначено: 1 – живильник; 2 – гідроциліндр ($\varnothing 80$ мм, хід 880 мм); 3 – гідроциліндр ($\varnothing 80$ мм, хід 330 мм); 4 – обгінний транспортер; 5 – кінцева станція; 6 – транспортвальна стрічка; 7 – гідроциліндр ($\varnothing 60$ мм, хід 110 мм), 10 штук; 8 – калібрувальна головка, 2 шт; 9 – привод шпинделя; 10 – шліфувальна головка, 4 шт; 11 – полірувальна головка, 4 шт; 12 – приводна станція; 13 – ланцюговий варіатор.

Обробка лицьової поверхні заготовок, які знаходяться на транспортній стрічці конвеєра, здійснюється по чергово на різних позиціях обробки шліфуванням та поліруванням. Конвеєрна стрічка приводиться у рух приводною станцією, що забезпечує передачу безступінчасто регульованого руху із значним передаточним числом від електродвигуна ланцюговим варіатором із дистанційним керуванням, клинопасовою передачею, редуктором, зубчастою муфтою, відкритою зубчастою передачею на обгумований приводний барабан. Станцію змонтовано на спільній звареній плиті і вона може переміщуватися вздовж осі конвеєра, що дозволяє використовувати її як натяжну – натягування стрічки здійснюється двома гвинтовими пристроями. У протилежному кінці транспортера знаходиться кінцева станція, яка містить обгумований барабан, що його змонтовано у двох стойках. Барабан отримує обертання від конвеєра і ланцюговою передачею передає його обгінному транспортеру. Обгінний транспортер призначено для того, щоб приймати плити, які подає живильник, і передавати їх на конвеєрну стрічку. Обгінний транспортер являє собою раму із двох швелерів, які з'єднано гвинтами, і яка містить приводні шківів, встановлені на підшипниках із фланцевими корпусами, та клинопасову передачу. Заготовки пакетом встановлюють у касети, для їхнього переміщення застосовують гідроциліндри та кулісно-важільні механізми. Живильник дозволяє автоматизувати подачу заготовок і забезпечити її безперервність. Керування здійснюється з пульту.

Конвеєр поєднує: двошпindelний консольний калібрувальний верстат з вертикальним переміщенням (від гідроциліндру) шпindelних гільз з інструментом – алмазними шліфувальними головками, які встановлені на жорсткому тримачі і тому працюють як торцеві фрези. Головки мають пересувні упори; шліфувальні і полірувальні верстати, які виконують грубе та напівчистове шліфування і полірування.

Конвеєр з'єднує дві станини (рама і стіл звареної конструкції): на одній встановлено калібрувальний, шліфувальний та шліфувально-полірувальний верстати, а на другій – два шліфувально-полірувальні верстати.

До кожного інструменту через порожнистий шпindel підводиться охолоджуюча вода.

Деякі технічні характеристики: розміри заготовок $L \times B \times H = (300-2000) \times (\text{до } 400) \times (14-50)$ мм; діаметр алмазного інструмента 450 мм; частота обертання інструменту

630 об/хв; тиск шліфування – до 1500 Н; вертикальний хід шпинделя 110 мм; швидкість подачі 0,3-1,2 м/хв; продуктивність 14,4 м²/год (за подачі 0,6 м/хв), витрати води 6 м³/год, встановлена потужність 92 кВт.

Гранітні заготовки, які поступають на **калібрувальньо-полірувальні** верстати, мають ширину до 650 мм, якщо вони отримані розпилюванням на ортогональних верстатах, або до 2200 мм після штрипсових та мультиканатних верстатів.

Калібрування слябу за товщиною – це не лише вирівнювання лицьової поверхні таким чином, щоб нерівності не перевищували певний припустимий рівень (при цьому товщина є довільною), а і зняття припуску по лицьовій поверхні, щоб товщина слябу відповідала заданій величині. Саме такі сляби поставляють на ринок. Якісне калібрування значно полегшує його подальше полірування.

Фірма PEDRINI (Італія) випускає серію **мостових конвеєрних калібрувальньо-полірувальних** верстатів SUPERNOVA B065GV, які призначено для обробки кам'яних смуг з попереднім обрізуванням їх по торцях на цьому ж верстаті [http://www.pedrini-italia.it/eng/scheda-macchina.php?materiale=granito&lavorazione=lucidatura-e-finitura-granito&tipo=&prd=supernova_B065GV].

Верстати мають програмне керування. Сенсорний монітор дозволяє контролювати всі параметри обробки. Комп'ютер може бути пов'язаний з локальними мережами (LAN) і, через систему „Teleservice“, з фірмою PEDRINI для післяпродажного обслуговування клієнтів.

На верстаті встановлено калібрувальні (головки Falco) та/або полірувальні протиударні головки, кількість яких визначається вимогами до обробки. Шпинделі ROTOR є стандартними для всіх головок, вони встановлені згідно з регульованою шириною обробки і відрегульовані по висоті відповідно до припуску, який треба видалити (керована точна гвинтова передача з візуалізацією на дисплеї). Полірувальні головки піднімаються та опускаються за допомогою подвійного пневматичного поршня. Кожний шпиндель має пристрій для автоматичного підйому при зупинці та зворотному ході конвеєрної стрічки і повернення до робочого положення при її повторному



Рис. 4.117
Шпиндельний вузол „ROTOR“

запуску. Головки розташовані на пересувному суцільному мосту, який здійснює поперечні переміщення по напрямних у вигляді жорстких балок, що працюють у масляній ванні, і приводиться у рух двома системами симетричного синхронізованого рейкового приводу. Забезпечують швидкість поперечного руху до 60 м/хв.

Головки Falco (рис. 4.118) для калібрування/вирівнювання мають дві групи по три алмазних абразивних елементи-сателіти, що розташовані на 2-ох орбітах. Кожна головка знімає припуск 0,2 мм.

Головки Falco для калібрування/вирівнювання мають дві групи по три алмазних абразивних елементи-сателіти, що розташовані на 2-ох орбітах. Кожна головка знімає припуск 0,2 мм.

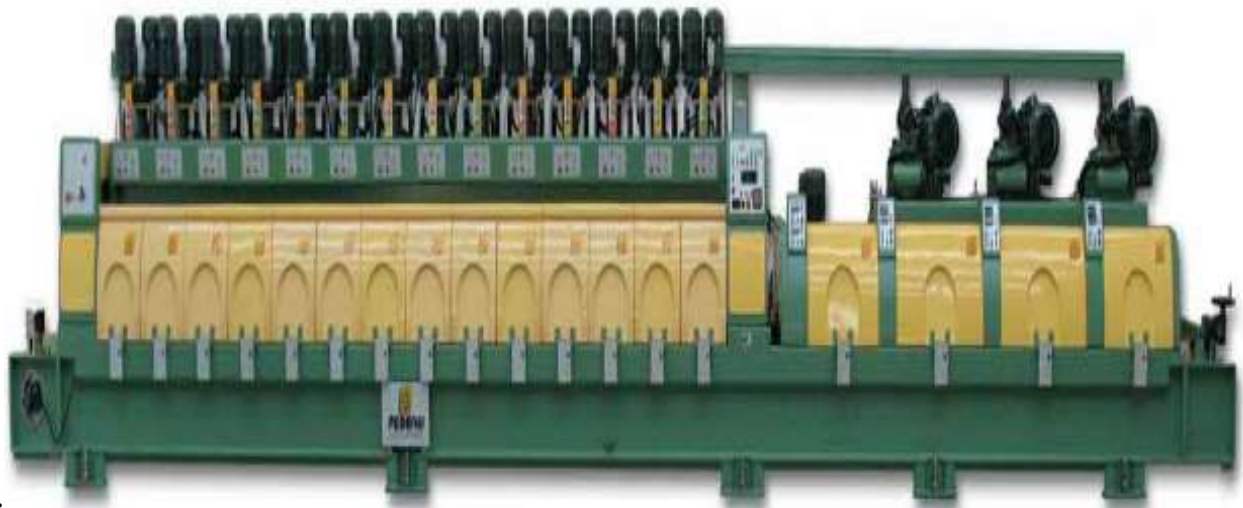


Рис. 4.118 Калібрувально-полірувальний верстат серії SUPERNOVA B065GV

Полірувальні антиударні головки (рис. 4.119) мають по 7 осцилюючих сегментів, до яких кріпиться абразивний інструмент. Осциляція покращує якість полірування та усуває засмічування пор абразивного інструмента. Привод сегментів здійснюється планетарним механізмом особливої конструкції: кожний шпиндель отримує обертання встановленого на ньому центрального зубчастого колеса через розташовані по колу зубчасті колеса меншого діаметру від 3-ох двигунів (якщо встановлена потужність становить 16,5 кВт) або від 2-х (якщо потужність 11 кВт). Така компоновка підвищує сталість шпинделя, бо зменшує вібрації за рахунок жорсткої фіксації шпинделя. Велике передатне відношення дозволяє знизити потужність за збереження крутного моменту. У циліндричному отворі моста шпиндель фіксують з точністю й ортогональністю 0,01 мм. У центрі корпусу кожного шпинделя з метою створення протитиску встановлено

пневмоциліндр. Тиск головки на оброблювану плиту є різницею між вагою головки та тиском пневмоциліндру і регулюється залежно від оброблюваного матеріалу.



Випускають моделі з 8 головками Falco та різною кількістю полірувальних головок. Деякі параметри: розмір обробки – ширина – 300/650 мм; товщина – 10/50 мм; кількість попередньо-полірувальних головок – 2; кількість полірувальних головок – 10-12-14/14-16/14-16-18-20.

Заготовку переміщує конвеєрна стрічка із змінними сталевими пластинами. Перед початком обробки (на вході у верстат) передбачається визначення ширини й товщини слябу за допомогою системи ультразвукових датчиків. Кількість матеріалу, що підлягає видаленню, при обробці, автоматично



Рис. 4.121 Загальний вигляд балок поперечного руху



Рис. 4.122 Робоча зона верстата Galaxy B220CG

розбивається на всі позиції.

Максимальна швидкість конвеєрної стрічки 2/8 м/хв (залежить від ступеню нерівності слябу); загальна встановлена потужність – 175/237 кВт; 270/282 кВт; 127/146 кВт; 161/227 кВт – залежно від кількості головок.

Додатково може використовуватися машина M845 для зняття фасок для мармуру та граніту, яка виконує периферійну обробку – зняття фасок чотирьох верхніх країв за допомогою нахилених на 45° абразивних інструментів. Може мати різну кількість шпинделів [<http://www.pedrini-italia.it/eng/scheda-macchina.php?materiale=granito&lavorazione=lucidatura-e-finitura-granito&tipo=filagne&prd=M845LV>].

За концепцією та у конструктивному відношенні багато спільного з розглянутим має верстат тієї самої фірми PEDRINI (Італія) моделі Galaxy B220CG, призначений для обробки слябів шириною до 2200 мм, а не лише смуг. (https://www.youtube.com/watch?time_continue=56&v=Io-tyrfaV2w).

Завантаження смуг на роликівий конвеєр здійснюється автоматично завантажувальною машиною M301 [http://www.pedrini-italia.it/pdf/29_M301.pdf]. Ця машина оснащена пластиною, яка здатна присмоктуватися. Смуги з мармуру, травертину, граніту, вапняку, сланцю піднімають з вертикального положення та горизонтально опускають на конвеєр. (<https://www.youtube.com/watch?v=1xVg5dZzi-c>).



Рис. 4.123 Автоматична завантажувальна машина M301 (PEDRINI (Італія)).

Верстат Zenit CNC [<http://m-g.com.ua/product/zenit-cnc.html>] призначений для калібрування, шліфування, полірування і чищення, а також свердління, фрезерування й гравірування. Має електрощиндель з конусом ISO 40 і автоматичною заміною інструменту може утримувати абразивні пластини до 300 мм. Магазин містить 10 інструментів, передбачене пневматичне блокування та розблокування конусів.



Рис. 4.124 Верстат Zenit CNC



Рис. 4.125 Магазин інструментів

Передбачено систему, яка дозволяє автоматично визначати розмір інструмента. Є також система автоматичного визначення товщини сляба з передачею розмірів на комп'ютер та миттєвим оновленням параметрів різання.

Для керування передбачені ПК із сенсорним екраном 15 дюймів, USB-порт для передачі файлів, а також ручне керування переміщеннями за всіма осями.

Деякі параметри: максимальна кількість інтерпольованих осей – 3; хід каретки за осями X, Y, Z – 2850 мм, 2650 мм, 350 мм; габарити робочого стола 3500×2000 мм; регульована інвертором частота обертання шпинделя 0-6000 об/хв; максимальна швидкість каретки по осі X – 0-35 м/хв, моста по осі Y – 0-25 м/хв.



Рис. 4.126 Система TOOLS PRESETTING

Як приклад **планетарних шліфувально полірувальних** машин можна навести машини лінійки DSM (Schwamborn, Німеччина, DSM-450/DSM-800), які можуть застосовуватись для обробки граніту, мармуру, мозаїки, бетну та ін., є лідером на світовому ринку обладнання для обробки підлог. [<https://diamalmaz.ru/img/files/articles/2017/12.2017/article-planetarnye-mashiny-title.jpg>]. Ці машини мають унікальні плаваючі підвіски, які знижують рівень вібрацій, забезпечують рівномірне шліфування за рахунок саморегулювання положення робочих дисків за висотою в процесі експлуатації. Мають інтелектуальну систему керування безступінчасто регульованим у широких межах електродвигуном (забезпечується універсальність). Передбачена система заміни оснащення без втрат часу. Всі машини цієї лінійки можуть шліфувати великі площі.

Як приклад **планетарних шліфувально полірувальних** машин можна навести машини лінійки DSM (Schwamborn, Німеччина, DSM-450/DSM-800), які можуть застосовуватись для обробки граніту, мармуру, мозаїки, бетону та ін., є лідером на світовому ринку обладнання для обробки підлог. [<https://diamalmaz.ru/img/files/articles/2017/12.2017/article-planetarnye-mashiny-title.jpg>].

Ці машини мають унікальні плаваючі підвіски, які знижують рівень вібрацій, забезпечують рівномірне шліфування за рахунок саморегулювання положення робочих дисків за висотою в процесі експлуатації. Мають інтелектуальну систему керування безступінчасто регульованим у широких межах електродвигуном (забезпечується універсальність). Передбачена система заміни оснащення без втрат часу. Всі машини цієї лінійки можуть шліфувати великі площі в режимах від грубого шліфування й до полірування, як бетон, так і натуральний камінь, застосовуються і для реставрації та оновлення підлог.

На рис. 4.110 показано багатфункціональну полірувальну-шліфувальну машину виробництва фірми IPERTITINA PLUS, яка має частоту обертання диску

2800 об/хв., а на рис. 4.111 – планетарна система з 6-ма моторизованими дисками для встановлення алмазних інструментів на цю машину. Можна виконувати обдирання, шліфування, полірування

[<http://tiletools.ru/catalog/monoshchetki/planetarnaya-sistema-dlya-ipertitina/>].



Рис. 4.127
Багатфункціональна
полірувальна-
шліфувальна машина



Рис.4.128
Планетарна
інструментальна
система

Прикладом передових розробок є роботизований комплекс з розпилювання і шліфування каменю. Обладнання знаходиться у відокремленому від основного цеху скляному боксі. Для оператора передбачене окреме приміщення, в якому знаходяться робочий стіл, три монітори й клавіатура. Комплекс може працювати у цілодобовому режимі і не зупиняється під час подачі нової заготовки. Камінь захоплюється за допомогою присосків, які за командою комп'ютера можуть ставати плоскими чи приймати увігнуту форму. Ріжучі частини переміщуються по 5-ти осях. Точність обробки 0,1 мм. Верстат дозволяє настроювання на різання й шліфування будь-якої гірської породи. Заводу-виробнику можна замовити потрібні вузли та опції. Роботи можуть працювати як із глибами вагою 30 тон і одночасно розрізувати їх на 60 заготовок, так і з дрібними заготовками. Але покищо подібні технології застосовують лише на великих підприємствах.

4.4 Виробництво облицювальних плит

При виробництві облицювальних плит необхідно надати каменю потрібну форму, розміри та фактуру лицьової поверхні.

Розміри плит, мм.

Мармур: $(1500...2800) \times (800...1400) \times (20...40)$.

Граніт: $(1500...2800) \times (800...1600) \times (30...40)$.

4.4.1 Процес шліфування-полірування плит

Шліфування – один з найбільш трудомістких та вартісних процесів обробки природного каменю. Шліфуванню передують процес калібрування, який виконується на тих самих шліфувальних верстатах і метою якого є вирівнювання плити за товщиною. Два перших шпіндельних вузли оснащено калібруючим інструментом – алмазними шліфувальними головками для калібрування мармуру або алмазними тарілчастими фрезами. Ці інструменти кріпляться на шпинделі жорстко, а інші інструменти – шарнірно.

Додатковою операцією є встановлення калібруючого інструменту на потрібну відстань від конвеєрної стрічки за умови, що найбільший шар який може бути знято, становить 2 мм. Калібруючий інструмент другого шпинделя опущено відносно першого на 1,5 мм.

Плити для обробки без калібрування сортують, відхилення за товщиною становить $\pm 1,5$ мм.

Фактурну обробку (шліфування, лощіння, полірування) здійснюють на одних і тих самих верстатах, але є значні відмінності через різні вимоги до режимів шліфування й полірування, в першу чергу щодо частоти обертання, подачі й тиску на інструмент. Безпосередньо шліфування передбачає декілька переходів: грубе шліфування, середнє й тонке шліфування, лощіння.

Мета шліфування – виправлення дефектів розпилювання та максимальне наближення лицьової поверхні до площини (відхилення від площинності не перевищує 1 мм на 1 м). За звичай повне вирівнювання поверхні заготовки досягаються через 2-10 проходів.

При середньому шліфуванні забезпечується вирівнювання мікронерівностей (3-4 проходи інструменту, 6 кл. шорсткості за ДСТУ (ГОСТ 2789-73), R_a 1,6-2,5 мкм), при тонкому – перепад висот нерівностей 0,04 мм (за 2-3 проходи забезпечує 7 клас

шорсткості, R_a 0,8-1,25 мкм), при лощинні – перепад висот 0,001, мм за зменшеної бази мікронерівностей (за 2-3 проходи забезпечує 8 кл шорсткості, R_a 0,4-0,63 мкм), при поліруванні – висоту мікронерівностей 0,4-0,2 мкм. Відповідно застосовують абразивні інструментальні матеріали з зернистістю, яка зменшується, а для полірування (накатування глянце) – жорсткі або еластичні полірувальники із зв'язаним поліруючим матеріалом чи повстяні круги із вільною поліруючою суспензією (суміш консистенції піни поліруючих порошків типу оксиду хрому, олова, алюмінію та води).

Режими при поліруванні мають меншу інтенсивність, наприклад, тиск на плиту становить 50-70% тиску при шліфуванні. Швидкість обертання інструменту рекомендується у межах 8-10 м/с, а тиск – 0,025 ... 0,05 МПА.

Найкращу якість полірування забезпечують повстяні (фетрові) круги із різними суспензіями за умови періодичного зволоження поверхні, яку поліруємо. Якість контролюється візуально або блискоміром і становить R_a 0,05-0,08 мкм (10 клас шорсткості).

Довідка: Блискомір, наприклад, НИИКС-14 або ОФБ-2, вимірює кількість світлової енергії, яку віддзеркалює полірована поверхня каменю. Як еталон використовують поліроване скло.

Прилад містить вимірювальну головку з джерелом світла та фотоелементом. Результати вимірювань полірованого каменю порівнюють із характеристиками полірованого скла.

Фактурна обробка **виробів з граніту** починається з грубого шліфування (обдирання), яке має найбільшу трудомісткість і займає 40-60 % загального часу обробки. Залежно від якості пиляної поверхні плит-заготовок грубе шліфування може містити два етапи – обдирання вільним абразивом на спеціалізованому обдирному верстаті, призначеному тільки для виконання цієї операції, та обдирання зв'язаним абразивом на звичайному шліфувальному верстаті.

Обдирання вільним абразивом виконується шліфувальником у вигляді чавунного диску (ферраси) із закріпленими на ньому чавунними чи сталевими брусками, які працюють із дробом \varnothing 1,5-2 мм або шліфувальним порошком з карбіду кремнію (марок КЧ або КЗ) зернистістю 160-125. Абразивна пульпа подається у зону обробки насосом чи ежектором (рідше). Така обробка тривалий час була єдиним способом вирівнювання поверхні плит, отриманих розпилюванням штрипсовими пилами з використанням дроби великого

діаметру, що зумовлює значні відхилення лицьової поверхні від площинності (виступи, западини, глибокі борознини).

Плиту вкладають на металевий піддон із щільним приляганням до нього (можуть використовуватись розпирні клини), що виключає розколювання заготовки в разі високого тиску інструменту. Іноді для спрощення плиту вкладають на шар дрібного піску, який перерозподіляється під вагою плити й заповнює всі порожнини, або стіл вкривають вологою повстю. З торців плиту закріплюють дерев'яними планками чи клинцями щоб попередити зміщення у процесі шліфування. Піддон із заготовкою подають на верстат краном за умови збереження горизонтального розташування лицьової поверхні, що перевіряють рівнем. На верстатах серії ЛЖ попередньо відсортовані за товщиною плити-заготовки (перепад поверхонь не перевищує 1 мм) вкладають на бетонну площадку між рейками верстата, на якій залиті рідким гіпсом поперечні полоси (по 2-3 полоси під кожен плиту). За високої якості поверхні є припустимим встановлення плит без гіпсової суміші, а безпосередньо на дерев'яний настил та затискають по периметру, наприклад, плашками.

Вмикають подачу абразивної пульпи, обертання і вертикальну подачу ферраси. Поступово знімають опуклі ділянки при опусканні ферраси. Лицьову поверхню перевіряють: відхилення від площинності не повинно перевищувати 1 мм на 1 м (при прикладанні лінійки по периметру й діагоналям).

Обдирання зв'язаним абразивом виконується найчастіше на мостових верстатах (можуть бути застосовані також порталні і коліно-важельні верстати) абразивними циліндричними торцевими шліфувальними кругами (шарошками), з яких формують складені круги на спільній планшайбі, планетарними головками або спеціальними головками АГШГ для грубого шліфування. Найліпше застосовувати планетарні робочі головки, які забезпечують інтенсивне знімання поверхні каменю і при тому за невисокої частоти обертання шпинделя. Ефективними є робочі головки із шліфувальними сегментами, що хитаються. В останньому випадку особливу увагу приділяють еластичності шарнірного з'єднання робочої головки із шпинделем: при тискові 150-200 Н переміщення у вертикальній площині не повинно перевищувати 2 мм. Кріплення обдирного інструменту до шпинделю жорстке, але між фланцем та планшайбою розташовано пружну гумову прокладку, яка дещо компенсує відхилення робочої поверхні інструменту від горизонтальної площини. Із широким розповсюдженням технології розпилювання дрібним дробом, впровадженням інших методів розпилювання граніту (наприклад, на мультиканатних

Верба І.І.
Обладнання для обробки природного каменю

верстатах) стало можливим отримувати заготовки з кращою якістю поверхні, тобто й ефективнішим стало обдирання зв'язаним абразивом. Перевагою цього способу є виключення повторного встановлення й вивірки заготовки на іншому верстаті після обдирання на першому верстаті.

Використовують схему послідовно-паралельних проходів інструмента, забезпечується перекриття оброблених зон на 0,1-0,2 діаметра круга, при цьому інструмент не повинен виходити на край заготовки більш, ніж 0,2 діаметра за край заготовки більш, ніж 0,2 діаметра. У разі, якщо оброблювана поверхня незначним чином вихиляється від площини, обдирання виконується за автоматичною програмою.

Обробку починають при тискові, що складає 50 % рекомендованого значення, до робочого тиск доводиться після одного-двох проходів. У кінці обробки виконують один прохід із тиском 50 % робочого та збільшеною подачею.

Перехід (це найчастіше 3-4 проходи) вважають завершеним, коли досягнута рекомендована шорсткість. Кожний перехід завершується промиванням деталі.

Таблиця 4.7

Раціональні режими шліфування-полірування граніту на мостових верстатах

Операції	Режими обробки					
	Частота обертання шпинделя n, об/хв	Швидкість робочої подачі, м/с		Тиск інструмента на виріб, МПа	Витрати води, л/хв	Глибина видаленого шару за один прохід,
		Поздовжньої	Попереочної			
Обдирання	20-40	0,05-0,2	2-4	0,5-0,6	10-15	0,2
Попереднє шліфування	—	—	—	—	—	0,15
Тонке шліфування	—	—	—	—	6-8	0,01
Середнє шліфування	20-24 (10-12)	—	—	0,2-0,3	8-10	0,03
Доводне шліфування	-	—	—	—	—	0,005
Лощіння	-	—	—	0,2	—	0,003
Полірування	8-12	—	2-3	—	8-10	—

В дужках: швидкість обертання для інструменту із синтетичних алмазів, тиск – для інструментів із синтетичних алмазів та зі карбїду кремнію.

Витрати води при поліруванні повстяними кругами становлять 0,02-0,03 л/хв.

Якщо обробку продовжують на іншому верстаті, тобто перевстановлюють плиту, треба забезпечити, щоб оброблювана поверхня відповідала площині обертання шліфувальника, бо в іншому разі треба бути додатково вирівнювати поверхню.

Фактурна обробка граніту на конвеєрних широкоставкових верстатах аналогічна обробці на мостових верстатах, але процес відбувається безперервно в автоматичному режимі. Для полірування використовуються, наприклад, дві, чотири або більше останніх робочих головок. Поверхню плит перед поліруванням висушують за допомогою спеціального вентилятора. Поліруючу суспензію подають дозатором.

Мармурові плити оброблюють на мостових та конвеєрних верстатах. Плити встановлюють у касети, розміри яких відповідають максимальним можливостям верстату. Наприклад, касета для верстата мод. СМР-013 дозволяє обробити плити розміром 2800×1400 мм, верстат мод. Minali MC-3 дозволяє обробку плит розміром 4000×4000 мм. Для зручності транспортування касет та укладання заготовок використовують дві касети, кожна з яких має розмір 3600×1800 мм. Спочатку укладають плити найбільшого розміру.

Касета – це металева зварена рама із поперечними балками, поверх якої влаштовано дерев'яний настил. З боків настилу (з двох взаємоперпендикулярних або з усіх чотирьох) розташовано упори. Рама має 4 гаки для транспортування. Якщо плити кладуть безпосередньо на настил, то їх підбирають за товщиною, щоб зменшити шар, який знімають при грубому шліфуванні. Для вирівнювання верхньої поверхні плит застосовують суміш з гіпсу та ошурок. Плити у касеті розклинюють або, навпаки, щільно притискають брусками одна до одної.

Відстань між напрямними для пластин транспортера повинна перевищувати ширину заготовки на 5-7 мм: це запобігатиме поперечним зміщенням та розвороту заготовок на транспортері.

Рекомендовані режими для шліфування полірування виробів з мармуру.

Операції	Кількість робочих головок на операції, шт	Режим обробки				Витрати води, л/хв
		Швидкість обертання інструмента, м/с	Швидкість подачі, м/хв		Тиск інструмента на виріб, МПа	
			поздовжньої	поперечної		
Обдирання	2	13-17	0,05-0,1	3-4	0,08-0,1	12-14
Середнє шліфування	1	–	–	4-6	–	10-12
Лощіння	2	–	–	–	0,05-0,07	–
Полірування	3	8-12	0,03-0,05	2-3	0,08-10	8-10

Витрати води вказні для обробки алмазним інструментом та полірувальником на синтетичній смолі. при поліруванні повстяним кругом – 0,02-0,03 л/хв.

Наступні операції аналогічні тим, що виконують при обробці гранітних плит. Особливістю є використання переважно алмазного інструменту та полірувальників на синтетичних смолах, а при поліруванні повстяними або фетровими кругами – білого чи безбарвного порошку, наприклад, оксиду алюмінію, бо кольорові (оксиди заліза, хрому) можуть забарвити мрамур і видалити його з поверхні дуже важко. Попереджують також попадання на мрамур мастил, які залишають стійкі плями.

Останнім часом широке розповсюдження отримало шліфування-полірування мрамру на конвеєрних верстатах: так оброблюють більш за 50 % загальної кількості мрамурових плит.

Конвеєрні верстати, які не мають автоматичних пристроїв завантаження та зняття плит, обслуговують два робітники: один укладає плити (по одній) на транспортер та обслуговує верстат, другий знімає плити, контролює якість полірування та упаковує плити в тару.

В залежності від конструкції конвеєрного верстата можливі два технічних варіанти:

- з попереднім калібруванням заготовок;
- без попереднього калібрування заготовок.

Верба І.І.
Обладнання для обробки природного каменю

Переваги попереднього калібрування:

- менші витрати інструменту на перших операціях шліфування (особливо при обробці мармурів, що містять кварц);
- виключення попереднього сортування плит за товщиною.

Недолік: між заготовками треба мати інтервал 1200-300 мм що знижує продуктивність.

Без попереднього калібрування доцільно оброблювати камінь невисокої міцності.

Таблиця 4.9

Рациональні режими шліфування мармуру на конвеєрних верстатах

Операції	Режим обробки				Витрати води, л/хв
	Швидкість обертання інструмента, м/с	Швидкість подачі, м/хв		Тиск інструмента на виріб, МПа	
		поздовжньої	поперечної		
Обдирання	20-24 (8-12)	1,5-2,0	6-10	0,08-0,1	10-12
Середнє шліфування	–	–	–	0,06-0,08	8-10
Лощіння	8-12	–	–	0,04-0,06	–
Полірування	–	–	–	–	–

У дужках – дані для інструменту із синтетичних алмазів.

Конвеєрний верстат плоскошліфувальний СМР–074 є фактично автоматичною лінією, яка складається з верстатів обдирного, шліфувального, шліфувально-полірувального, що поєднані між собою конвеєром. Призначений для шліфування та полірування оброблюваних плит шириною 300-600 мм, довжиною 500-1000 мм, товщиною 15-40 мм з каменів середньої твердості і твердих. Наприклад, верстат обдирного шліфування є порталним 4-ох шпindelним автоматом із стрічковим конвеєром. На траверсі встановлено попарно шліфувальні головки. Плити вкладені на конвеєр на відстані щонайменше 300 мм. Шліфувальна головка опускається на оброблювану поверхню, коли передній край плити по ходу руху конвеєра перекриває шліфувальний інструмент на 80 мм (при \varnothing 450 мм) та 60 мм (при 320 мм). Зусилля притискання 1000...6000 Н, налагоджується дроселем Витрати води на охолодження 16 л/хв на одну головку.

4.4.2 Технологічна схема виробництва облицювальних плит

До стандартних виробів належать плити наступних розмірів у плані: 400×400, 400×600, 300×300, 300×600 мм з товщиною 15 або 20 мм. Ці плити можна отримати із слябів або із смуг. Плити переважно проходять операцію калібрування, тобто доведення до заданого розміру, але все одно мають відхилення від заданих розмірів у плані в межах $\pm 0,5$ мм, за товщиною $\pm 0,7$ мм [14]. Такі стандартні плити призначені для облицювання підлог та стін. З тією ж метою випускають також тонкі плити товщиною 8-10 мм, які мають точні розміри за довжиною, шириною й товщиною, фаски по верхнім полірованим граням та фрезеровані з тильного боку дві чи більше канавки для покращення зчеплення з клеєм або розчином. Стандартні вироби загалом дешевші за вироблені на замовлення і найчастіше наявні на складах великих спеціалізованих підприємств, тобто виготовляються значними партіями.

Залежно від гірської породи обирають відповідне обладнання та послідовність виконання операцій (технологічну схему виробництва).

1. Комплектація ставок на візках розпилювальних верстатів. Здійснюється на складі блочної сировини. Доставка плит до місця подальшої обробки здійснюється разом з візками з використанням платформ або мостовими кранами.

2. Розпилювання блоків на плити або бруси. Обладнання визначається властивостями каменю.

3. Розбирання ставок.

4. Складування плит-заготовок або брусів, зокрема, пакування плит-заготовок на піддонах.

5. Розкрій плит (з м'яких та середньої твердості порід – пакетом, а з твердих порід – індивідуально) чи брусів, в разі обробки плит з м'яких та середньої твердості порід – обкантовування на фрезерно-обкантовувальних верстатах. Для твердих порід обкантовування виконують після шліфування-полірування.

Плити у піддонах перевозяться електронавантажувачами на майданчики формування касет.

6. Формування касет. На верстат подають касету мостовим краном.

7. Шліфування плит. Виконується у кілька проходів (наприклад, 8-10) кругами різної зернистості, яка поступово зменшується.

8. Полірування плит.

Поліровані плити з твердих порід мостовим краном подають до фрезерно-обкантирувальних верстатів, де їх обкантирують алмазними відрізними кругами згідно заданим розмірам. Обкантировані плити з твердих порід знімають з верстата мостовим краном чи тельфером та розміщують у спеціальних переносних стелажах.

9. Розформування касет та стелажів. Здійснюється у спеціально відведеному місці, де здійснюється комплектація готової продукції і вона запаковується у тару.

Наведена технологічна схема виробництва містить окрім операцій обробки ще й допоміжні операції.

Розглянемо докладніше операції обробки.

Для твердих порід виконують:

- Розпилювання блоків на плити-заготовки (≈ 40 % вартості готової продукції).

Здійснюють сталевими штрипсами у середовищі вільного абразиву з маятниковим рухом пильної рами, а при малому вмісті кварцу – алмазними штрипсами з вертикальним чи горизонтальним прямолінійним рухом рами. Останнім часом застосовують мультиканатні верстати.

Якість розпилювання визначає трудомісткість наступної обробки.

Після штрипсового розпилювання, наприклад, плити-заготовки наближені до правильного прямокутника. Відхилення не повинні перевищувати від прямолінійності – 100 мм, від паралельності – 200 мм, від перпендикулярності – 100 мм на всій довжині плити. Неплощинність не перевищує 4 мм. Значна різниця по товщині плит зумовлює потребу у обдирному шліфуванні для вирівнювання плит перед калібруванням. Непрямолінійні бокові сторони вимагають застосування слідкуючого пристрою для управління кареткою.

- Шліфування та полірування для надання потрібної фактури.

Виконується на шліфувально-полірувальних верстатах мостового та порталного типу або шліфувально-полірувальних конвеєрах.

Заготовки з граніту надходять на шліфування необкантиваними. Якщо їх попередньо обкантирувати, тобто обрізати за заданими розмірами, як це роблять із мармуровими плитами, то при обробці через значний тиск (1,0-1,2 МПа) по краях виникнуть сколи.

Внаслідок шарнірного закріплення інструменту на шпинделі при шліфуванні заготовок відбувається нерівномірне знімання шару каменю по кутках та кромках плити, наслідком чого є так зване „завалювання“, тобто заниження відносно загальної площини лицьової поверхні.

– Розкрій та обкантовування плит на задані розміри. При товщині більше 40 мм – у кілька проходів.

Обкантування – процес точної обробки, шляхом якого плитам-заготовкам надається потрібна форма (найчастіше прямокутна) та задані розміри (ГОСТ 9480-77, 23342-78). Обладнання: фрезерно-обкантовувальні верстати – різновид алмазно-дискових розпилювальних верстатів: одно- та багатодискових, за компоновкою – порталних (з двома дисками, типу СМР-014), мостових (є найуживанішими, наприклад, верстати типу СМР-015), консольних (для плит невеликої площі – до 1 м²), конвеєрних.

Принципові відмінності у процесі обкантовування плит зумовлюються твердістю оброблюваного каменю. Плити з мармуру та подібних матеріалів обкантовують до фактурної обробки, (економічніше з погляду зменшення браку), натомість плити з граніту й інших твердих порід – після фактурної обробки, яка може зумовити пошкодження кромки виробу через підвищений тиск інструмента, що супроводжує обдирне шліфування для вирівнювання плит по товщині після штрипсового розпилювання. Мармурові плити подають на верстат пакетом (за звичай 5-8 шт.), який вкладено на піддон, і обкантовують всі плити у пакеті одночасно. Гранітні плити обкантовують поштучно: перший різ здійснюють на глибину не більш за 40 мм, наступні (якщо товщина плити перевищує 40 мм) – з пониженням круга або підвищенням столу (залежно від моделі верстату) на 20-40 мм за кожний прохід (для збільшення жорсткості й притискання заготовки зусиллям різання – у напрямку подачі), при виконанні останнього проходу забезпечують виліт круга над нижньою поверхнею заготовки не менш за 20-25 мм.

Після останнього поздовжнього різку робочий стіл повертають на 90 °

Для порід м'яких та середньої твердості:

- Розпилювання блоків на блоки-заготовки (товщина 150-400 мм). Виконується однодисковими каменерозпилювальними верстатами.
- Розбрусовування заготовок на бруски-заготовки на багатодискових розпилювальних верстатах.

- Розпилювання брусків-заготовок на плити на багатодискових розпилювальних верстатах.
- Фактурна обробка лицьової поверхні на шліфувально-полірувальних конвеєрах.

Для порід середньої твердості, в першу чергу – **кольорового мармуру**:

- Розпилювання блоків на ортогональних верстатах – отримуємо безпосередньо із блока необхідного розміру плити, розміри яких обмежуються діаметром інструмента.
- Обкантовування плит.
- Фактурна обробка на стрічкових шліфувально-полірувальних конвеєрах або інших верстатах.

Принципова відмінність технологічних схем у тому, що виконується раніше – обкантовування та розкрій або фактурна обробка.

Одним з найраціональніших методів організації виробничого процесу є поточний метод виробництва, коли обладнання розташовано згідно з порядком виконання обробки, а оброблюваний виріб передається з однієї операції на іншу транспортними пристроями (дуже часто конвеєром). Така організація виробництва – поточні й поточно-конвеєрні лінії – дозволяє автоматизувати процес, продуктивність на одиницю площі й обладнання, зменшити собівартість. Поточні каменеобробні лінії широко впроваджені при виробництві облицювальних плит. Такі лінії переважно базуються на фрезерно-обкантовувальному та шліфувально-полірувальному обладнанні.

Перші лінії передбачали тільки шліфування й полірування і мова йшла переважно про мармур (наприклад, конвеєрна лінія „Карл Мейєр“ для виробництва облицювальних плит, продуктивність 21 м²/год, за рік – 100000 м²). Розпилювання здійснювалося окремо від лінії на алмазно-штрипсовому верстаті, потім заготовки великого розміру надходять на обкантовування на два алмазно-дискових верстати і розрізуються по одному із заданих розмірів (поздовжньому), далі – обкантовування по другому заданому розміру (поперечному) та передача транспортером на головний конвеєр; попереднє шліфування базової поверхні, поворот на 180°, грубе шліфування лицьової поверхні, усунення дефектів за результатами візуального огляду (наприклад, шпаклювання і сушка); шліфування-полірування. Це не єдина компоновка, яка використовується фірмою.

На рис. 4.129 показано циклічну поточну лінію з використанням шліфувальних верстатів: кам'яні плити, що їх скомплектовано у касеті, розташовані безпосередньо на конвеєрі або у візку. Конвеєр поздовжньо переміщується переривчасто (із технологічними зупинками) чи з безперервною подачею. Шліфувальна головка рухається вздовж траверси і тим самим здійснює поперечну подачу, можливо із осциляцією. Передбачено компоновку, коли чорнове шліфування здійснюється периферією круга, а подальша обробка – торцем круга (рис. 4.129, а).

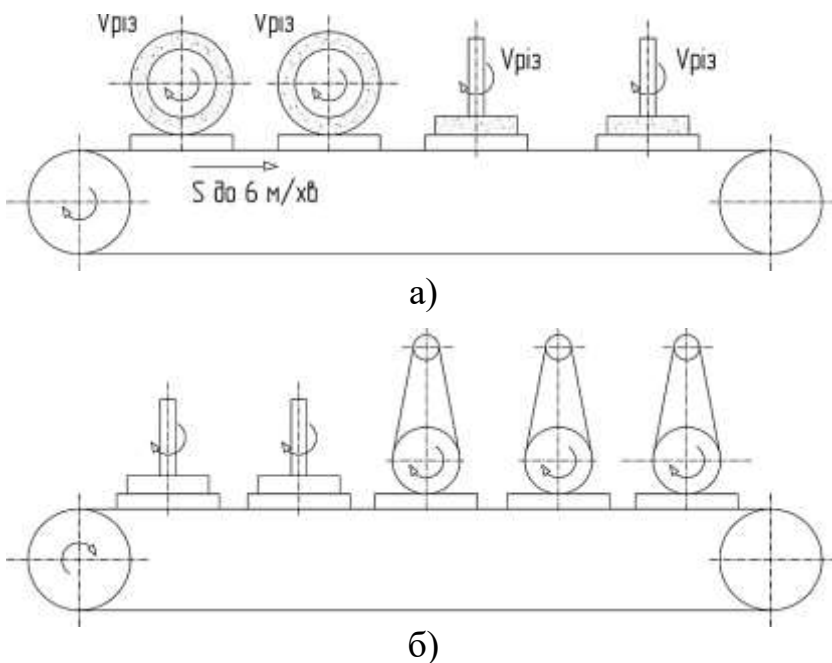


Рис. 4.129 Циклічні поточні лінії.

Використовують пружне шліфування (з постійним тиском) і планетарні шліфувальні головки великих діаметрів – 1-1,5 м. Наприклад, для чорнового шліфування використовують планетарні головки, а для тонкого шліфування і полірування – стрічкові шліфувальні головки (рис. 4.129 б). Транспортер з ялинкоподібним гумовим покриттям має швидкість до 6 м/хв. Кількість шліфувальних

головок визначається припуском та необхідною якістю обробки. Припуск, в свою чергу, залежить від різнотовщинності плит, тобто від метода розпилювання. Традиційні штрипсові верстати (штрипси товщиною 8-10 мм, дріб \varnothing 2-3 мм) зумовлюють різнотовщинність 3-4 мм, розпилювання тонкими штрипсами (дріб \varnothing 0,8-1,0 мм) – різнотовщинність 0,8-1,0 мм, алмазно-дискове розпилювання м'яких порід типу мармуру – 0,5-1,0 мм. При 5-ти шліфувальних головках загальна потужність електродвигунів становить 250 кВт.

На основному потоці в автоматичному режимі здійснюють шліфування і полірування лицьової поверхні плит, їхнє поздовжнє й поперечне обкантовування. На допоміжному потоці транспортуються плити-заготовки, які треба шліфувати ще раз, виправити дефекти або вилучити з подальшої обробки через непридатність. Керування на допоміжному потоці може здійснюватися частково автоматично, а частково навіть вручну.

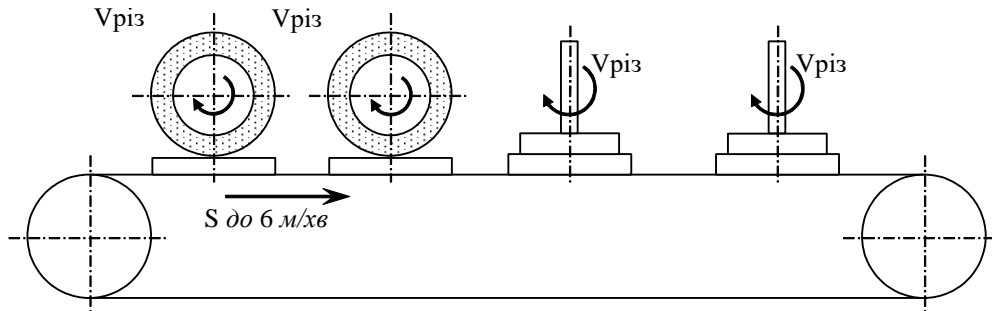


Рис. 4.130

В обладнання основного потоку у загальному випадку входить завантажувач плит, комплект роликів транспортерів, конвеєрні верстати для грубого шліфування, шліфувально-полірувальний, для поздовжнього обкантовування, мостовий верстат для поперечного обкантовування, за необхідності – кромкошліфувальний верстат, розвантажувач (знімач) оброблених плит, механізми прибирання відходів обкантовування. Заготовками є значного розміру плити (сляби), отримані розпилюванням блоків (на різного типу верстатах) або довгі смуги обмеженої ширини, отримані із слябів чи розпилюванням на дискових ортогональних верстатах, які можуть входити у склад лінії. Є лінії, які містять два розпилювальні верстати: ортогональний верстат, який випилює з блоку не плиту, а брус, який потім розпилюється на плити дисковим верстатом. За такої компоновки можна збільшити продуктивність лінії по обробці мармуру.

В експлуатації знаходяться поточні каменеобробні лінії, що характеризуються значним різноманіттям конструкцій та організації обробки і, відповідно, їх класифікують за різними ознаками. Для нас найбільш цікавою (і відмінною від традиційної, наприклад, для металообробного обладнання чи складального виробництва) є класифікація за видом оброблюваного каменю і, звісно, за типом виробів, що їх випускають (плити облицювальні, витесані, декоративні на основі природного каменю, а також профільні та об'ємні деталі тощо) та розмірами. Більшість поточних ліній, які використовуються, можуть бути віднесені до напівавтоматичних чи автоматичних безперервно-поточних багатооб'єктних, що призначені для випуску облицювальних плит з мармуру, вапняку, граніту.

Умовою створення безперервного потоку є регульовані за швидкістю транспортери.

5 ОБРОБКА МЕТОДОМ СКОЛЮВАННЯ. РУЙНУВАННЯ УДАРОМ

Новий якісний ефект (підвищення точності чи продуктивності) неможливо отримати за рахунок подальшої інтенсифікації режимів обробки чи збільшенням потужності обладнання. Зростають масогабаритні показники обладнання, металоємність і енерговитрати, збільшується навантаження на робочий орган, тобто виникає потреба у міцнішому й зносостійкому інструменті (тобто застосування дорогих матеріалів).

5.1 Ударна обробка каменю

Технологія різання дозволяє отримувати вироби (зокрема, плити і будівельні деталі) лише з великих гранітних блоків, та ще й процес різання досить трудомісткій, низькопродуктивний та енерговитратний, а вартість обладнання й інструменту, особливо алмазного, значна. Для виготовлення достатньої кількості виробів досить перспективними є ударна обробка та технологія розколювання, які ґрунтуються на факті кристалічної будови і незначної межі міцності на розрив (не більш за 65 МПа). За умови прикладення до поверхні кам'яного блоку зосередженого навантаження миттєво утворюється тріщина по всій товщині. Отож за енерговитратами технології розколювання вигідно відрізняються від розпилювання. До того ж вартість каменекольного обладнання значно нижча порівняно з каменерізним. Товщина розколюваних блоків може складати до 815 мм і визначається потужністю верстата (питома сила розколювання 6,0-10,0 МПа [5]). Час розколювання практично не залежить від товщини блоку і становить біля 1 с.

Розрізняють три структури граніту: дрібнозерниста (розмір зернин до 2мм), середньозерниста (зернини від 2 до 5 мм), великозерниста (зернини більш за 5 мм). Висота рельєфу поверхні розколу каменю залежить від зернистості.

При виготовленні продукції розколюванням у якості сировини використовують некондиційні блоки, граніти шаруватої структури та відходи від пасирування й розпилювання блоків (при видобутку блоків у кар'єрах відходи (сколки) складають 50-68 %, а при розпилюванні – 20-40 % (через тріщинуватість) [5]. Сучасні технології та обладнання дають можливість перероблювати відходи не тільки у щєбінку, а й виробляти облицювальні плити, брущатку, бортове каміння. Вартість колотої брущатки приблизно у 4 рази менша, ніж пиляної.

Однією з переваг обробки сколюванням є можливість отримати декоративну фактуру каменю без додаткової наступної обробки. Фактура каменю відіграє утилітарну

Верба І.І.
Обладнання для обробки природного каменю

роль, але в сучасній архітектурі є елементом композиції. Поверхні, які утворились при сколюванні, збільшують декоративність виробу і, відповідно, будівлі.

При обробці каменю методом сколювання досягається кілька видів фактурної обробки:

Таблиця 5.1

Фактури сколювання

Назва фактури	Спосіб отримання	Характеристика
Рельєфна „Скеля“	Природне сколювання по периметру лицьової поверхні плит товщиною 200-300 мм за допомогою молотка та шпунтом таким чином, щоб не було слідів інструменту. Так обробляють граніт, сієніт, діодорит, лабрадорит, габро, базальт, вапняк, пісковик. Найдекоративніша фактура.	Можна надати каменю рельєф різної глибини – від 50 до 150 мм. Виявляє колір та кристалічну будову каменю. Має горбки та гребені з гострими крайками. Отримують лише вручну.
Пласка „Скеля“	Розколювання на колючому верстаті	Фактура менш рельєфна
Горбиста	Обробляють інструментом сколювання (шпунт або вузька скарпель). Обробляють граніт, вапняк, пісковик, туф. Виконують тільки вручну, бо для кожного наступного сколу треба обрати напрям та силу удару.	Характеризується наявністю рівномірно розподілених горбків та заглибин (5-15 мм) із слідами інструменту. Дрібногорбиста має висоту рельєфу 5-15 мм, відстань між горбиками 20-40 мм.
Рифлена	Обробка троянкою з твердосплавними різцями поверхні розпилу чи поверхні, що попередньо вирівнювалась шпунтом (вапняк, туф, пісковик, іноді мармур). Отримують також на фрезерних та стругальних верстатах з використанням гребінчастого різця.	Рівномірно-шерхла поверхня з правильним чергуванням поздовжніх виступів чи заглибин висотою 1-3 мм (вертикальних, горизонтальних чи діагональних) на відстані 4 або 6 мм.
Термоструменева	Дія струменем високотемпературно го газу	Шорстка (шерхла) поверхня
Точкова	Обробка хрестовою бучардою поверхні, яку попередньо вирівняли шпунтом або розпилюють на верстаті плити (граніт, діодорит, габро, діабаз).	Рівномірно шерхла поверхня з висотою рельєфу до 2 мм. Тільки для твердих порід.
Борозниста	Обробка пластинчастою бучардою чи фрезою, яка котиться, після шпунта чи розпилювання (граніт, діодорит, габро, діабаз, діабаз).	Рівномірно шерхла поверхня з переривчастими борознами глибиною до 0,5-2 мм. По периметру плит – перпендикулярно до ребер.

Наведемо деякі дані щодо інструментів, які використовують при сколюванні.

Точна ударна обробка здійснюється пневмомолотками чи вручну спеціальними інструментами.

Закольник призначений для сколу крайки при виготовленні облицювальних плит, а також для виготовлення брущатки (рис. 5.1).



Рис. 5.1 Закольник

Скарпель – інструмент (типу долота) для ручної чи пневматичної обробки каменю різної твердості. За формою це сталевий круглий чи гранований стрижень, який розширюється до одного з кінців у вигляді загостреної лопатки (рис. 5.2). На кінці може мати пластинку з твердого сплаву. Використовують скульптори при обробці каменю, при пробиванні отворів та канавок у бетонних чи цегляних і кам'яних стінах.



Рис. 5.2 Скарпелі

Кут загострення вістря скарпелі становить $45-50^\circ$ для порід твердих, для м'яких і середньої твердості – $15-20^\circ$. Точність обробки поверхні долі міліметру. У облицювальних роботах найчастіше використовують для точної обробки ребер суміжних елементів профілю, виконаного в ударній фактурі.

Шпунт схожий зовні на скарпель, але кут загострення складає 70° для твердих



Рис. 5.3 Шпунт.

порід і 20° для середньо-твердих (рис. 5.3). М'які породи не оброблюють. Виготовляють із вуглецевої чи легованої сталі, можуть мати на робочому кінці твердосплавний

штифт. Довжина шпунту 200-250 мм, діаметр 15-30 мм. Нерівності після обробки не більше 15 мм, максимальна точність розмірів після обробки шпунтом в межах $+5$ мм.

Троянка – це гостре долото із зубцями (рис. 5.4) на кінці для обробки порід середньої твердості. Кут загострення біля $15-20^\circ$, відстань між зубками – 1-6 мм. Точність обробки троянкою залежить від величини зубців і становить 1-2 мм. Надає каменю певної декоративності, тож може використовуватися як остаточна фактура.

Удар по інструменту здійснюють сталевим молотком вагою 0,5-2,0 кг, який має певну кривину.

Скарпель, шпунт, троянка, бучарда можуть бути твердосплавними і можуть використовуватися із пневмомолотками й перфораторами.

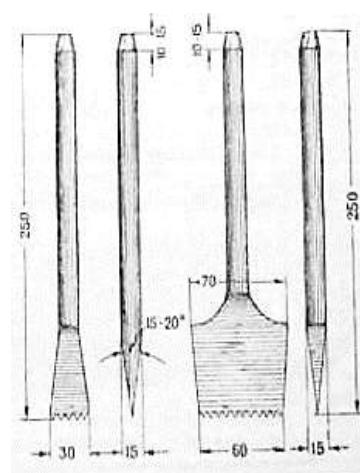


Рис. 5.4 Троянки.



Рис. 5.5 Троянка із зубцями з твердого сплаву

Один з найрозповсюдженіших способів ударної обробки – бучардування каменю (особливо твердих порід). Застосовують його переважно при виробництві бордюрів, східців тощо.

Для ударної обробки з метою утворення певного рельєфу використовують кілька типів інструментів.

Бучарда хрестова (рис. 5.6) – це сталевий молоток із робочою площею 40×40 мм, яка оброблена таким чином, що містить квадратні зубці у формі піраміди, зокрема армовані твердим сплавом. Кількість зубців 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81. Залежно від кількості зубців отримують різні фактури, наприклад, висота рельєфу 0,8-1,2 мм для 25 зубців чи 0,6 мм для 64 зубців.

Хвостовик бучарди виготовляють для встановлення у патрон пневматичного відбійного молотка. Виконання фактурних робіт на твердих породах потребує ваги молотка 10-12 кг та витрат повітря $1,0-2,0 \text{ м}^3/\text{хв}$, тобто пневмомолоток повинен бути закріплений у спеціальній рухомій станині, або використано бучардовий верстат.



Рис. 5.6 Бучарда хрестова

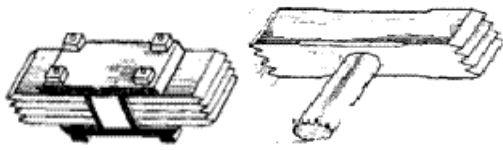


Рис. 5.7 Бучарди: а) – пластинчаста набірна; б) – проста кувальна.

На рис. 5.7 показані пластинчасті бучарди. Кількість зубців пневмобучард 25, 36, 64, 100.

Точкові фактури на пласких плитах можна отримати з використанням електрифікованих бучард: диск \varnothing 150-400 мм, у вирізах якого закріплено в якості інструменту обертові сталеві зірочки \varnothing 50 мм і товщиною 5 мм. (форма залежить від твердості каменю й потрібної шорсткості фактури, який отримує рух від гнучкого валу).

Показана машина (рис. 5.8) має складений твердосплавний інструмент \varnothing 100 мм з 60-ма зубцями. Обертובה головка встановлена на гумових опорах з метою зменшення шуму і вібрацій та підвищення строку експлуатації. Підтримується постійна частота обертання. Ширина обробки ступінчасто регульована в межах 40-92 мм.



Рис. 5.8 Машина для бучардування LST 1503 VR FLEX (фірма FLEX, Німеччина)

Розроблені і експлуатуються з 1950-х років бучардові верстати, наприклад, СМР-50, що призначений для ударної обробки лицьової поверхні гранітних плит. Розраховані на використання стандартного інструменту – твердосплавних бучард, які створюють точкову фактуру. Верстат має мостову конструкцію. На мосту розташовано каретку із закріпленими на ній двома вертикальними підвісками, що мають призматичні напрямні, по яких рухається виконавчий орган. В установлювальному отворі виконавчого органу закріплено відбійний пневматичний молоток, в якому на пружних підвісках встановлено оправку з насадженою на неї бучардою. Бучарда повинна інтенсивно повертатися в отворі пневмомолотка, щоб забезпечити хорошу фактуру. Виконавчий орган

має два вертикальні ходові гвинти для встановлення бучарди по висоті (затискають у призматичних напрямних підвісок гвинтами). Хід каретки виставляють пересувними упорами. Стіл – це зварена рама, що спирається на 4 гвинтових домкрати, які встановлено на фундаменті. Верхня поверхня накрита щитом з дошок, на які вкладають оброблювану деталь – плиту. Домкрати дозволяють регулювати горизонтальний рівень поверхні. Швидкість моста 1,0 або 1,41 м/хв, ход 3500 мм, безступінчасто регульована швидкість каретки 1-6 м/хв, частота ударів бучарди 22 с^{-1} .



Рис. 5.9 Бучардовий верстат СМР-050

Максимальні розміри плити-заготовки $(600 \dots 2800) \times (200 \dots 1400) \times (50 \dots 140)$ мм, кількість бучард – 14, продуктивність – $2,68 \text{ м}^2/\text{год}$.

5.2 Обробка методами механічного розколювання

Для облицювання споруд окрім шліфованих гранітних плит застосовують плити з фактурою так званої пласкої „Скелі“. Раніш виготовлялися вручну розколюванням глиб. Механічне розколювання є дуже продуктивним. При виготовленні шліфованих плит з граніту для випилування 1 м^2 плити треба щонайменше 1 годину на чистову обробку і 0,3 год на полірування, а на механічне розколювання 1 м^2 плити з врахуванням всіх підготовчих операцій – 0,1 год. Проблемою є розмір будівельних плит.

Ширина, мм	500...700	500...800	800...900
Висота, мм	300	400	500

Допуск - ± 3 мм.

За таких співвідношень розмірів не можна розколюванням отримати плити товщиною 25-30 мм, бо вони ламаються. Забезпечують товщину 140, 160, 180 мм.

Щоб отримати розколювання у потрібному місці й напрямку (орієнтоване розколювання), треба створити у потрібному місці попередньо-напружену зону: камінь розколеться у напрямі найменшої міцності.

Схематична послідовність виготовлення плит ударною обробкою наступна. Блоки каменю зі складу надходять на ділянку розколювання, де їх розколюють буроклиновим способом вручну або на спеціальних установках. Для цього свердлять (наприклад, з використанням перфораторів) чи бурять у камені отвори-шпури і встановлюють в них клини (рис. 5.10), які заглиблюють ударами кувалди. Відколоті заготовки передають на ділянку фактурної обробки з попереднім вирівнюванням. Фактурну обробку виконують відбійними молотками з набором бучард різного типу. Фактурна обробка великогабаритних виробів, наприклад, парпетів набережних, здійснюється безпосередньо на кар'єрах.

Для розколювання блоків на плити для облицювання розроблено комплекс верстатів. Гранітні блоки розміром від 400×600×300 до 1500×1000×600 мм розмічають та окреслюють базові контури: підтримують потрібний розмір у перерізі по всій довжині блоку, наявні виступи відколюють вручну. Блок закріплюють на візку. Послідовність наступних дій:

1. Окантовка з двох боків (найзручніше – планетарними фрезами, які переміщуються вертикально).
2. Свердління отворів на бокових поверхнях блоку. Використовують буровий двошпindelний верстат.
3. Поворот блоку на 90° (у вертикальне положення) за допомогою кантувача.
4. Окантовка бокових поверхонь на обкантовувальному верстаті. Повернення блоку у попереднє положення (поворот на 90°).
5. Свердління отворів у верхній поверхні на одношпindelному буровому верстаті.
6. Блок на візку вкочують у робочу зону верстату для розколювання каменю. Верстат має масивний портал, у вертикальних стойках якого розташовані два гідроциліндра (по одному з кожного боку). На штоках шарнірно закріплені спеціальні пристрої – індентори¹, які створюють зону напруження. Зверху на порталі також розташовано гідроциліндр.

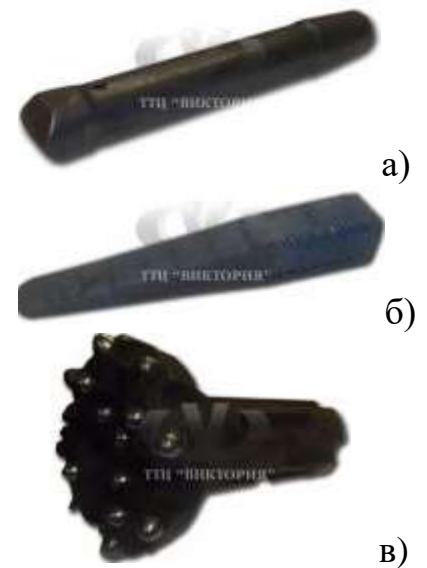


Рис. 5.10 Бур (а); клин (б); бурова коронка трипера шарикова (в). <http://ttc-victoriya.com.ua/>

¹ індентор (англ. [indenter](#)) — твердий предмет певної геометричної форми (куля, конус, піраміда) і розмірів, який вдавлюють у поверхню матеріалу під дією заданого навантаження або власної ваги з метою визначення якихось властивостей матеріалу (твердості, модулю пружності тощо).

Після того, як блок потрапляє у робочу зону, індентори створюють напружену зону (кожен розвиває тиск 90 т, тобто разом-180 т), а верхній гідроциліндр натискає на клин, встановлений в отвір на верхній грані.

Створюваних зусиль достатньо для розколювання породи міцністю 200 МПа при поперечному перерізі 1000×600 мм.

Для механізованого розколювання блоків будь-яких розмірів та твердості з метою виробництва брущатки, облицювальної плитки, малогабаритних брусів, бордюрів, стінового каменю використовують каменерозколювальні верстати, зокрема, преси (найчастіше – гідравлічні).

Прес створює на робочій частині сколюючого ножа-індентора (або кількох ножів, часто плаваючих) напружену зону й тим самим зумовлює розколювання у потрібній площині. Створюване зусилля становить 20-250 тон. Корпус верстату призначений для сприйняття значних навантажень під час роботи. Прес із зусиллям до 40 тон має консольну компоновку і ніж шириною до 350 мм. Призначені вони для продукції шириною до 300 мм і висотою до 200 мм (наприклад, брущатка). Більш потужні преси мають порталну компоновку і використовуються для заготівельних операцій. Мають конвеєри чи рольганги для переміщення деталей, маніпулятори. Застосовують також, переважно у кар'єрах, портативне пересувне устаткування для розколювання. Є преси із зусиллям розколювання до 1300 тон і перерізом розколювання шириною до 2000 мм та висотою до 1500 мм.

Умови процесу суттєво залежать від геометрії робочої частини ножа (кут при вершині (рекомендується 60-90°), радіус затушення робочого леза(гостре лезо потребує менших зусиль) тощо). Існує критичний радіус затушення, при якому неможливе розколювання. Чим твердішим є граніт, тим швидше відбувається затушення (ніж експлуатується в умовах дії циклічних контактних навантажень в присутності абразиву) [32].



Рис. 5.11 Гідравлічний верстат для розколювання. Позначено: 1 – станина; 2 – робочий стіл; 3 – рухомий блок з комплектом з 10-ти ножів; 4 – гранітні заготовки; 5 – брущатка-виріб [32].

Верба І.І.
Обладнання для обробки природного каменю

Верстат може працювати автономно або вбудовуватися у технологічну лінію різного рівня автоматизації, зокрема у поточні автоматизовані лінії.

Існують також верстати для розколювання з механічним (ексцентриковим) приводом.

Верстати для розколювання є конструктивно простими і при тому високопродуктивними (до 120 м² поверхні розколювання за зміну [<http://ttc-victoriya.com.ua/stanki/kamnekolnye-stanki.html>]).

Таблиця 5.2

Технічні характеристики каменерозколювальних верстатів

Назва параметру	Розмірність	SY S70	SY S90	SY-S200	SY-S240
Максимальний розмір заготовки	мм	400×200×100	300×300	600×400×200	1200×600
Потужність	кВт	4,0	7,5	11	13,2
Робочий тиск	т	30	50	180	200
Розміри верстату	мм	780×660×1350	1650×1000×200	1000×1900×1900	4500×660×1350
Вага	кг	750	1350	2500	4600

			
SY S70	SY S90	SY-S200	SY-S240

6 ФІЗИКО-ТЕХНІЧНІ МЕТОДИ ОБРОБКИ КАМЕНЮ

Ефективність технологічної схеми підвищують застосуванням не нових механізмів та інструментів, а нових принципів обробки, зокрема, фізико-технічних способів.

Серед фізико-технічних методів обробки каменю знайшли використання або знаходяться у стадії розробки й дослідження:

- обробка термореактивними газовими горілками (термоодбійниками);
- обробка струмами високої частоти;
- лазерна обробка;
- плазмова обробка;
- термомеханічне руйнування.

Фізико-технічні способи обробки можна розділити [16] на

- динамічні або ударні (гідравлічний, гідроабразивний, ультразвуковий та ін.);
- термічні (зокрема, електротермічний, променевий, лазерний, плазменний, тощо);
- термодинамічні (термогазодинамічний вплив швидкісного (звукового і надзвукового) газового потоку).

Для всіх фізико-технічних способів обробки характерна відсутність силового впливу на оброблюваний матеріал: руйнування відбувається через миттєве прикладення великої кількості енергії в обмеженій зоні.

Як робочий орган (в ролі інструменту) виступають різні енергетичні потоки чи поля, певного складу розчини, які призводять до змінювання складу чи стану породи або її фізико-механічних властивостей.

Використовують також комбіновані способи. Найчастіше при цьому попередній фізико-технічний вплив знижує міцність матеріалу, а наступне (фактично одночасне) застосування механічного руйнування різцевим інструментом завершує обробку. Як приклад, можна назвати термомеханічну обробку, коли для ослаблення породи здійснюють попереднє нагрівання газовим потоком, який виробляється термогазогенератором, або накладення на робочий орган ультразвукових коливань з метою інтенсифікації обробки (аналогічний спосіб застосовують і у металообробці).

Докладніше про фізичну сутність процесів, технологію, конструкцію обладнання, пристосувань та інструментів (зокрема, термогазострумінних), напрямки використання (наприклад, терморізаки використовують для прорізання щілин у масиві гірських порід при видобуванні блоків, а термовідбійники для зняття поверхневого шару каменю при пасируванні блоків та фактурній обробці) можна ознайомитись у [16].

6.1 Динамічні або ударні фізико-технічні способи обробки

До ударної обробки відноситься також **ультразвукова обробка** та вібраційне різання.

Ультразвуком оброблюють камінь в абразивному середовищі. В зону між торцем інструменту, який здійснює високочастотні коливання, та оброблюваною поверхнею подається абразивна суспензія (містить воду, можливо із домішками, в якості абразиву – карбід бора, карбід кремнію, іноді пісок). Під дією ультразвукових коливань інструменту (найефективнішими є частоти 18 та 20 кГц) зерна абразиву сколюють частки каменю і з часом на виробі утворюється відбиток, який дзеркально повторює форму торця інструменту. За використання ультразвукової розмірної обробки можна отримати рельєфне зображення на камені. Застосовують металевий інструмент, який має негативне зображення потрібного малюнку. Процес повільний, але високоточний. Можна виконувати різання по прямій чи контурній лінії, об'ємне копіювання, прошивання отворів. Необхідною умовою є циркуляція та оновлення абразиву в робочій зоні.

Використовують ультразвукові генератори і магніто-стрикційні перетворювачі потужністю 4 кВт й частотою 18 кГц. Сучасним рішенням є застосування коливальних систем на основі сучасних п'єзоелектричних матеріалів (мають ККД вище, ніж у традиційних магнітострикційних матеріалів)

Ультразвукові коливання використовують

- для того, щоб розкрити природну фактуру шліфованих плит без полірування (ультразвукове поле створюється у рідкому середовищі).
- для інтенсифікації існуючих процесів шляхом накладення ультразвукових коливань на інструмент.
- для складно-профільної розмірної обробки у абразивному середовищі.

Застосовують також обробку з впливом ультразвукових коливань на традиційний процес обробки кам'яних заготовок ріжучим інструментом. Фактурна ультразвукова обробка протягом кількох хвилин може забезпечити колоту фактуру, лощену, а в окремих випадках – поліровану. При цьому зростає якість обробки при одночасному зниженні сили різання як мінімум у 10 разів.

Так, наприклад, накладення ультразвукових коливань на інструмент при алмазному шліфуванні має високу технологічну ефективність: зменшує зношення інструменту, підвищує продуктивність та якість обробки. З метою збудження ультразвукових коливань в алмазному інструменті використовують, наприклад, в якості в'язучого метал з магніострикційними властивостями, що дозволяє створити навколо інструменту змінне магнітне поле. Такий спосіб дозволяє відмовитись від складної коливальної системи.

Ведуться дослідження щодо профільної обробки каменю на основі вібраційно-копіювальної обробки в середовищі вільного абразиву.

Застосовують вібраційне або ударно-силове різання для реалізації динамічного сколювання: використовують коливальний рух різцевого інструменту з амплітудою 1,5-2 мм і частотою 1500-3000 коливань на хвилину. Найефективніше за вертикального встановлення різців у шаховому порядку. Продуктивність вібраційних верстатів вище у 5-6 разів за ручну обробку, але є енергоємним.

6.2 Термічна та термодинамічна обробка каменю

Термічна обробка передбачає короткочасне нагрівання поверхні каменю, наприклад, газовим струменем (суміш пропану, бутану й кисню) до температури плавлення. Складові каменю, який має неоднорідну структуру, мають різні коефіцієнти теплового розширення, що сприяє нерівномірному руйнуванню породи. Від ступеню нагріву залежить, який відсоток мінералів, що входять до складу гірської породи, вигорить. Після охолодження поверхня стає шерхлою із значними слідами луцення. Таким чином досягається більша міцність і поверхня є неслизькою, що може бути актуальним в певних випадках (наприклад, при використанні для виготовлення сходинок).

Обробка термореактивними газовими горілками (**термоодбійниками**) забезпечує підвищення продуктивності у 5-10 разів порівняно з пневматичним каменеобробним інструментом, зменшення витрат твердосплавного інструмента, зниження собівартості продукції. Така обробка широко застосовується за кордоном, зокрема, у США, Німеччині та ін.

При обробці термореактивними газовими горілками застосовують горілки бензино-повітряного та гасово-кисневого типів. Задачею є обрати робочі параметри (величину й калорійну потужність полум'я) таким чином, щоб повністю використати можливості горілки. Для обробки товстих плит застосовують горілки з диском \varnothing 50 мм, які дають



Рис. 6.1 Обробка газовою горілкою.

велике й сильне полум'я, а для тонких плит можна застосовувати горілки \varnothing 65 мм, що дають менше полум'я, і одночасно три плити, накладені одна на одну. Для безперервної роботи використовують горілки з водяним охолодженням.

Бензино-повітряні термоодбійники використовують для виготовлення архітектурно-будівельних деталей з порід високої міцності, широко впроваджені при виготовленні тесаних виробів на підприємствах України.

Широко застосовують повітряні газоструминні термоодбійники, зокрема, Т-5, розроблений Харківським авіаційним інститутом, основною складовою яких є прямоточний повітряно-реактивний мікродвигун, що працює на стисненому повітрі, бензині чи гасі. Безпосередньо «ріжучим інструментом» є високотемпературний надзвуковий газовий струмінь, який витікає з сопла реактивного мікродвигуна.

Термогазодинамічна обробка природного каменю передбачає нагрів до температури порядку 1300-1700°C і вплив на оброблювану поверхню газового струменя, який скеровується на поверхню із швидкістю 2200-2500 м/с та відокремлює верхній шар каменю. Обробка характеризується складними процесами, основними з яких є взаємозалежні термічний та газодинамічний впливи. При використанні струменя звукової та надзвукової швидкості використовують термін термогазодинамічна обробка (ТГД- спосіб). Саме на базі цього способу виникли термомеханічна обробка й термогазоабразивна.

Окремим видом термічної обробки вважають **кристалізацію**, яка також зміцнює поверхню. Виконують її за допомогою кислот або поверхнево-активних речовин. Поверхня

дещо пом'якшується, а потім знову застигає. Процес дозволяє ліквідувати тріщини і подряпини і надати каменю дзеркального блиску, підкреслити колір та малюнок. Обробка не є обов'язковою, але значно поліпшує стан матеріалу і забезпечує захист поверхні (наприклад, полірованої мармурової підлоги). Виконують кристалізацію перед остаточним поліруванням. Використовують спеціальні засоби- кристалізатори (залежні від породи каменю), які наносять на поверхню. Подальший процес нагадує полірування. Слід пам'ятати, що кристалізація придатна не для всіх порід каменів.

До термічних способів обробки належать також електротермічний, променевий, лазерний, плазмовий, тощо способи.

Перспективною є **обробка струмами високої частоти** (в діапазоні 3-7 та 15-20 МГц), яка найбільше придатна для виготовлення блоків-заготовок для виробництва східців, бордюрів, парпетів. Високочастотний струм подається до спеціальних лінійних електродів, які щільно стикаються з двома протилежними сторонами блоку. У місцях контакту гірська порода поглинає енергію і утворюються дві клиноподібні зони нагрівання породи, між якими відбувається тепловий пробій і блок розділяється на частини. Напрямок розколювання каменю залежить від просторової орієнтації плоских електродів. Процес цієї обробки зараз вдосконалюється.

Все більшу увагу викликає **плазмове** руйнування порід кристалічної структури, яке здійснюється струменем, що витікає з плазмотрону із швидкістю 500-1000 м/с з температурою 2200-2400°C і фактично ріже камінь. Розроблено ряд конструкцій плазмотронів у вигляді ручних горілок типу термоотбійників, але питання застосування плазморізів у каменеобробці ще не вирішено належним чином, процес отримання плазмового струменю є вартісним.

Ведуться дослідження **лазерної обробки каменю** та розробка відповідного обладнання. Обробка лазером призводить до повного руйнування гірської породи або до її розм'якшення для наступної обробки механічними способами. Квантовим генератором можна ефективно зруйнувати будь-яку гірську породу, надати їй бажану форму, отримувати барельєфні зображення тощо.

Системи лазерної обробки представлені на світовому ринку такими виробниками як „Bystronic“ (Швейцарія), „Trumpf“ (Німеччина), „Mazak“ (Японія), „Prima Industrie“ (Італія), ЗАТ „Лазерные комплексы“ (Росія, м. Шатура), ЗАТ „НИИ лазерных технологий“ (м. Харків), ТОВ „ЛАЭТ“ (м. Одеса). Ці системи значним чином подібні та мають багато спільних властивостей і характеристик [16]. Певна кількість лазерного устаткування розрахована на гравірувальні роботи чи мікрмаркування або обробку профільних отворів, в першу чергу у надтвердих матеріалах (полікристалічний алмаз чи нітрид бору), тобто це не зовсім обробка каменю у традиційному значенні. Існують верстати для тривимірної надточної лазерної обробки – виготовлення прикрас, обробка графіту, кераміки. Тож основна галузь використання – ювелірна промисловість.

В каменеобробці застосовують лазери не так для обробки, як для позначення ліній розпилювання на фрезерно-обкантирувальних верстатах чи обрису шаблону при контурній обробці та розташування отворів при свердлінні.

6.3 Гідроструминна обробка

Гідроструминна обробка базується на використанні динамічної енергії водяного струменя, який формується сопловою насадкою і вилітає з неї під високим тиском і з великою швидкістю. Якщо сил зчеплення з породою недостатньо для утримання в ній, частки відриваються (сколюються) і виносяться (вимиваються) струменем води. За рахунок великої швидкості продуктивність процесу значна.

Гідроструминна обробка застосовується для фактурної обробки каменю після розпилювання блоків. При цьому плитам-заготовкам надають точкову або бугристу фактуру з висотою нерівностей рельєфу 2-8 мм. Одна з уживаних компоновок – за принципом порталного прохідного верстату: робочу гідроструминну головку встановлено на порталі, який рухається із швидкістю 30 м/хв. Плита-заготовка подається конвеєром або рольгангом. Поточна обробка облицювальних плит з граніту забезпечує продуктивність до 60 м²/год, що перевищує у 10-15 разів продуктивність бучардування. Обробка розкриває і



Рис. 6.2 Струминна головка для гідроабразивного різання

зберігає природний колір каменю. Спосіб порівняно недорогий, дозволяє забезпечити високу ступінь автоматизації. Але і продуктивність, і якість фактури визначаються властивостями гірської породи.

Розрізняють також так звану **акваобробку**, коли вода подається тонким струменем під значним тиском і поверхня каменю (найчастіш граніту) стає неоднорідною, шерхлою, з мікротріщинами. Така обробка посилює декоративність, наприклад, колір. Метод не є широко розповсюдженим.

Гідроабразивне різання у каменеобробці застосовується для виробництва з плит виробів складної форми, як то стільниць, підвіконь сходів, бордюрів, кам'яних декоративних панно для інтер'єрів та фасадів будинків, тощо, придатне не тільки для наскрізного різання, а і для вибирання масивів каменю в межах певного контуру. Потребує струменю рідини (найчастіше це вода) з абразивом (кварцевий чи гранатовий пісок, дрібні частки металу, тощо, 110-170 г абразиву на 1 л води [16]). Такий струмінь формується спеціальними пристроями-насадками і може бути стаціонарним або переривчастим (імпульсним чи пульсуючим). Наявність абразиву дає можливість різати важкооброблювані (тверді) матеріали значної товщини.

Для різання гірських порід застосовують тонкі (насадка діаметром 0,25-1,5 мм) струмені високого тиску (20-400 МПа, з швидкістю на виході з насадки 300-1200 м/с). Вони мають доволі значну потужність, яка зосереджена на невеликій площі контакту і мають достатню здатність до руйнування породи (відповідає різанню). Струмін рідини наближається до точкового інструменту. При тому витрати рідини незначні. Максимальна ріжуча здатність відповідає кутіві 90° між напрямком струменю і оброблюваною поверхнею. Ріжуча головка переміщується вертикально відносно заготовки, розміщеної на координатному столі. Застосування програмного забезпечення дозволяє виконати точну обробку в потрібний розмір без потреби у наступній обробці. Для довільного визначення координат необхідних точок на поверхні заготовок застосовують високоточні ($\pm 0,03$ мм) оптичні локатори (практично відеокамери), які встановлюють на ріжучих головках поряд із соплом.

Перевагами гідроабразивної обробки є

- універсальність;

- можливість фасонного різання досить товстих матеріалів (зокрема, криволінійних поверхонь з використанням системи CAD-CAM);
- обробка під точний розмір досить великих деталей (порядку 2×4 м) за відсутності потреби у додатковій обробці кромки;
- низька температура різання, відсутність теплового впливу навіть безпосередньо у зоні різання, виключаються теплові деформації й пошкодження чутливого до нагріву матеріалу;
- висока якість обробленої поверхні;
- економічність: висока швидкість різання (може сягати 30000 мм/хв, використання недорогих компонентів, відсутність потреби у переозагостренні інструменту, порівняно, наприклад, із дисковою пилою, значно більший ресурс абразивного сопла, хоча й не досить великий (50 год у вітчизняних сопел, 500-1000 году закордонних);
- відсутність пилу й забруднення при обробці.

До недоліків можна віднести конструктивні проблеми створення високого тиску, складність виготовлення сопел.

На відкритих розробках, особливо в разі потреби видалити сипкий ґрунт, можуть використовуватись струмені низького (до 2 МПа) тиску і з насадками діаметром 50-70 мм.

Ведуться дослідження щодо застосування полімерних розчинів

Гідроабразивну обробку технологічно нагадує обробка піскоструминна. По суті піскоструминна обробка є механічною обробкою, при якій здійснюється мікрвиколлювання частинок каменю повітряним струменем під високим тиском із частками абразиву (найчастіше – піску). Так виконують малюнки, рельєфи й написи (із застосуванням шаблонів, металевих чи плівкових трафаретів (із спеціальної плівки, яка може бути самоклейна, товщиною 0,4-0,8 мм), тощо). Можлива також фактурна обробка чи оновлення поверхні (наприклад, фасадів будинків).

6.4 Хімічна обробка каменю

Є дуже перспективною технологією обробки каменю, яка швидко розвивається. Її використання дозволяє застосовувати у виробництві матеріали, що раніш були непривабливими через низькі якісні й декоративні характеристики.

Хімічна обробка каменю використовується з метою

- захист поверхні каменю від вологи, мастила, бруду;
- зміцнення каменю спеціальною обробкою хімічними розчинами та шляхом шпаклювання тріщин, заглиблень, сколів, тощо (зокрема, кристалізатори);
- догляд за кам'яними виробами: очищення поверхні від іржі, фарби, мастила, тощо; дезінфектори; полірувальні засоби на основі воску, поліролів і т. д.; відновлення й посилення кольору; лаки.

Можливість реалізувати високий рівень автоматизації дозволяє впровадити технології хімічної обробки у лінії по виробництву стандартних плит та слябів, безпосередньо перед шліфуванням-поліруванням.

Для захисту каменю, особливо це стосується керамограніту, використовують обробку хімічними розчинами – наприклад, просочування поверхні каменю розчинами кремнійорганічних з'єднань (так званими гідрофобізаторами), які не утворюють на поверхні плівку, а змінюють для пор здатність змочуватись і надають матеріалу властивість відштовхувати воду. Глибина обробки може досягати кількох сантиметрів, а гідрофобні властивості зберігаються не менше 10-15 років. Нововведенням в гідрофобізації є застосування замість рідини кремноподібного матеріалу, який глибше проникає у камінь і не розтікається по його поверхні. Обробка збільшує погодостійкість.

Широко розповсюдженим є покриття поверхні та просочування каменю різними смолами, які зміцнюють та захищають матеріал, заповнюють пори й дефекти, підвищують здатність до полірування і декоративність (ефект „мокрого каменю“, ефект прозорості поверхневих шарів, ефект „старого каменю“ – антик та ін.). Використовують для обробки травертіну, застосовують поліестерні й епоксидні смоли (можливо з добавками різного призначення). Ці смоли є сталими до хімічних, механічних та інших впливів, не вступають у реакцію з більшістю розчинників.

Термохімічним процесом є кристалізація, яка передбачає дію та інших речовини-кристалізатора на кам'яну породу, що обов'язково містить кальцій (мармур, вапняк, тощо). Порошкоподібний кристалізатор окрім хімічної складової має ще й абразивну: абразив складає близько 70-80 % питомої ваги всього порошку. Тобто одночасно відбувається механічне полірування дрібним абразивом. Надає каменю високу міцність, водонепроникність, натуральний глибокий блиск.

При хімічній обробці природного каменю необхідно враховувати такі його властивості як водопоглинання, тобто здатність поглинати воду й водні розчини, і морозостійкість, яка може зумовити виникнення тріщин і руйнування, здатність поглинати солі і утворювати кристалізаційні структури, які, в свою чергу, сприяють руйнуванню через створення внутрішнього тиску. Так, наприклад, кристалізаційний тиск небезпечний при низькій пористості породи, особливо за умови високого водопоглинання. При виготовленні елементів робочих поверхонь у кухнях тип природного каменю обирають з обов'язковим врахуванням кислотостійкості, оскільки ці поверхні контактують із харчовими продуктами різної кислотності (оцет, лимонна кислота) і очищувачами.

Список літератури

1. Бакка М. Т. Обработка природного камня [Текст]: навч. посібник / М. Т. Бакка, В. В. Коробійчук, О. А. Зубченко – Житомир: РВВ ЖДТУ, 2006. – 438 с.
2. Бакка Н. Т., Ильченко И. В. Облицовочный камень. Геолого-промышленная и технологическая оценка месторождений: Справочник. – М.: Недра, 1992. – 303 с.
3. Берлин Ю. Я., Сычев Ю. И., Шалаев И. Я. Обработка строительного декоративного камня: Учебное пособие для профтехучилищ / Ю. Я. Берлин, Ю. И. Сычев, И. Я. Шалаев. – Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1979. – 232 с.
4. Букальський А. Найбільша алмазно-канатна машина на світі // Камінь, лютий/березень, 27/2009 – с.36-38 – URL: www.kamien.com.ua
5. Варданян К.С. Техника и технология камнеобработки. – Ереван: Айастан, 1988. – 110 с.
6. Верба І. І., Даниленко О. В. Порівняльна характеристика методів розпилювання кам'яних блоків. / Materialy XI mezinarodni vedecko-prakticka konference «Vedecky pokrok na pfelomu tysyachalery - 2015». – Dil 19. Technicke vedy.: Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o - stran 24-27.
7. Габбасов Б. М. Обоснование рациональных режимов работы канатно-алмазных пил при добыче природного камня в зимних условиях: автореф. дис. на соискание наук. степени канд. техн. наук: спец. 05.05.06 „Горные машины“; 25.00.22 – „Геотехнология (подземная, открытая и строительная)“ / Б. М. Габбасов – Магнитогорск, 2008. URL: <http://www.dissercat.com/content/obosnovanie-ratsionalnykh-rezhimov-raboty-kanatno-almaznykh-pil-pri-dobyche-prirodnogo-kamny#ixzz5fykc4cfo>
8. Гончаров Ю.В. Анализ межгосударственных поставок (экспорта-импорта) природного камня и изделий из него: Доклад на симпозиуме „Неделя горняка -2001“, Москва, МГГУ, 29 января-2 февраля 2001 г.
9. Губанов С. Г. Анализ производительности и эффективности эксплуатации штрипсовых станков ведущих фирм мира. URL: <https://docplayer.ru/44565773-Analiz-proizvoditelnosti-i-effektivnosti-ekspluatacii-shtripsovyh-stankov-vedushchih-firm-mira.html>
10. Губанов С. Г. Обоснование и выбор рациональных динамических и конструктивных параметров штрипсовых станков: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.05.06 „Горные машины“ / С. Г. Губанов – Москва, 2018.
11. Дисковая камнерезная пила. А.с.№ 190253 опубл 31.1.1967 бюл № 1 Акопян Р.В., Манукян А.А., Ерикян Р.Б.
12. Добыча блоков природного облицовочного камня из прочных пород. URL: <http://lib.kstu.kz:8300/tb/books/2013/RMPI/Otkrytaya%20razrabotka%20nerudnyh%20mestorozhdeniy/teory/leksi/5.2.htm>.
13. Инженерный справочник DPVA. Пористость – определение и таблицы пористости. URL: <https://dpva.ru/Guide/GuideMatherials/Porosity/PorosityOwvAbdAll/>.
14. Казарян Ж.А Природный камень в строительстве: обработка, дизайн, облицовочные работы. Справочник. – М.: ООО НИПЦ „Петракомплект“, 2008. – 282 с.

15. Казарян Ж.А. Обзор отечественного и мирового рынка природного камня и перспективы развития: Доклад на симпозиуме „Неделя горняка“, – 2000, Москва, МГГУ, 31 января-4 февраля 2000 г.
16. Кальчук С.В. Сучасні фізико-хімічні методи обробки природного каменю: Конспект лекцій з дисципліни ОР «Магістра», спеціальність: 184 «Гірництво», освітньо-професійна програма «Розробка родовищ та видобування корисних копалин» Кафедра розробки родовищ корисних копалин ім. проф. Бака М.Т. / Житомир: Житомирський державний технологічний університет. 2015. – 104 с.
17. Коробійчук В. В. Дослідження впливу якісних ознак блочного каменю на технологію розпилювання канатом з алмазними напайками / Вісник ЖДТУ № 2 (41) 2007 С. 1-5.
18. Коробійчук В. В. Розробка наукових основ технології супутнього видобування блоків в умовах щебневих гранітних кар'єрів: дис. докт. техн. наук : 05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин. / В. В. Коробійчук – Київ, 2018.
19. Коробійчук В.В. Дослідження впливу якісних ознак блочного каменю на технологію розпилювання канатом з алмазними напайками / Вісник ЖДТУ № 2 (41), 2007. С. 1-5.
20. Лёвин А. Г. Технология облицовочных работ природным камнем / А. Г. Лёвин. – М.: изд-во „Атолл“, 2001. – 264 с.
21. Никулишин Д.А. Использование технологии мультиканатных станков производства „ВМ S.R.L.“ (Италия) для распиловки блоков природного камня // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. / под ред. Г.Д. Першина. Вып.13. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. – С.110-115.
22. Никулишин Д.А. Использование технологии мультиканатных станков производства „bm s.r.l.“ (Италия) для распиловки блоков природного камня / Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. / под ред. Г.Д. Першина. Вып.13. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. – 166 с. (С. 110-115).
23. Оборудование для добычи и обработки камня: Каталог-справочник – М.: ЦНИИТ ЦНИИТЭстроймаш, 1980 – 230 с.
24. Першин Г.Д., Караулов Г.А., Караулов Н.Г. Добыча блоков мрамора алмазно-канатными пилами: Учеб. Пособие. – Магнитогорск: МГГУ, 2003. – 103 с.
25. Першин Г.Д., Караулов Н.Г., Уляков М.С. Современные технологические схемы добычи блочного высокопрочного камня. // Вестник МГГУ им. Г. И. Носова. – 2015. – № 3 – С. 5-11. URL: www.vestnik.magtu.ru.
26. Першин Г.Д., Пшеничная Е.Г., Уляков М.С. Повышение выхода блоков гранита на месторождениях со сложным залеганием природных трещин в массиве / Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. / под ред. Г.Д. Першина. Вып.13. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова», 2013. – 166 с. – с. 2-12.
27. Першин Г.Д., Уляков М.С. Анализ существующих технологических схем добычи гранитных блоков // Камень вокруг нас. – 2011. – № 29. – С. – 26-30.

28. Секретов М.С. Секретов В.В. Губанов С.Г. Повышение эффективности эксплуатации штрипсовых станков для распиливания гранитных блоков // Горное оборудование и электромеханика, 2011, № 5 – С. 44-49.
29. Синельщиков М. Е. Алмазные канатные и мультиканатные станки Toolstar: технологические и организационные вопросы эксплуатации. – Электронный ресурс (компания „Алмир“) – URL: https://almir.com/blog/novosti_kamneobrabotki/almaznye_kanaty_i_multikanatnye_stanki_toolstar_tehnologicheskie_i_organizacionnye_voprosy_ekspluatacii/.
30. Смирнов А.Г., Бакка Н.Т. Добыча и обработка природного камня Добыча и обработка природного камня: Справочник / Под ред. А. Г. Смирнова – М.: Недра, 1990 – 645 с.
31. Современные технологии добычи блочного гранита / Г.Д. Першин, С.А. Голяк, М.С. Уляков и др. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 12 (часть 2) – С. 163-167. URL: <http://www.granul.ru/> URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=6289>.
32. Состояние, перспективы и актуальные задачи производства продукции из природного и искусственного камня на Украине / А.Е. Капустян, В.С. Попов, И.М. Билоник, А.С. Петрашов. URL: <http://www.promdex.com/data/files/12817939244c6689b4677a1.gif>
33. Сычев Ю.И., Берлин Ю.Я. Распиловка камня. – М.: Стройиздат, 1989. – 320 с.
34. Сычев Ю.И., Берлин Ю.Я. Шлифовально-полировальные и фрезерные работы по камню. М.: Стройиздат, 1985. – 312 с.
35. Технология резки и сверления железобетона. Каталог продукции. Севітол діамант сервіс CDC. URL: <http://sevitool.stroimdom.com.ua/>
36. Шамрай В.І., Коробійчук В.В. Дослідження впливу шліфування- полірування природного каменю на його блиск та відтінки світлоти / Восточно-Европейский журнал передовых технологий 5/5(71), 2014 – С. 56-60.
37. Энциклопедия геологическая. URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_geolog/411/%D0%91%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F

Деякі корисні посилання

- http://www.wanlongstone.ru/stone-cutting-machine/2018_1.html
- <http://www.wanlongstone.com/>
- <http://www.wanlongstone.ru/stone-polishing-machines/>
- <https://breton-stonemachinery.blogspot.com/>
- <https://www.stone-tool.com.ua/preview/>
- <https://www.stone-tool.com.ua/preview-ua/>
- http://ua.sevitool.com.ua/accordions/view/rzka_obrobka_kamnyu].
- <http://fortuna-kam.ru/almaznyj-instrument/>
- <https://www.dr-schulze.de/ru/products/instrument-dlja-kamneobrabotki/>
- <http://www.nicolaidiamant.com/content/>
- www.service-kamnya.ru
- <https://www.starki.com.ua/>
- https://almir.com/catalog_pdf/
- <http://www.directindustry.com/ja/prod/breton-natural-compound-stone-division-69464.html>

www.pedrini.it
<http://www.directindustry.com/ja/prod/pellegrini/>
<https://www.dr-schulze.de/ru/arkhiv/>
<http://industry-portal24.ru/gornorazvedochnye-raboty/1194-poristost-porod-i-metody-ee-opredeleniya-obschaya-poristost.html>

Нормативні документи з напряму каменеобробки

- ДСТУ Б EN 1469:2007 Облицювальні плити.
ДСТУ Б EN 1468:2007 Плити необроблені.
ДСТУ Б EN 1467:2007 Блоки необроблені.
ДСТУ Б EN 1343:2007 Бордюри з природного каменю для мостіння вулиць.
ДСТУ Б EN 13373:2007 Методи випробування природного каменю. Визначення геометричних характеристик виробів.
ДСТУ Б EN 12058:2007 Плити для підлоги і сходів.
ДСТУ Б EN 12057:2007 Вироби з природного каменю. Модульні плитки.
ДСТУ Б EN 1342:2007 Брущатка із природного каменю для мостіння вулиць.
ДСТУ Б EN 1341:2007 Плити з природного каменю для мостіння вулиць.
ДСТУ Б. В.2.7-59-97 Блоки з природного каменю для виробництва облицювальних виробів.
ДСТУ Б. В.2.7-37-95 Плити та вироби з природного каменю.
ДСТУ 3306-96 Устаткування каменевидобувне та каменеобробне. Терміни та визначення.
ДСТУ Б А.1.1-20-94 ССНБ Крейда природна, мука вапнякова і доломітова. Терміни і визначення.
ДСТУ Б EN 1467:2007 Камінь природний. Блоки необроблені. Вимоги. (EN 1467:2003, IDT).
ДСТУ Б EN 1468:2007 Камінь природний. Плити необроблені. Вимоги. (EN 1468:2003, IDT).
ДСТУ Б EN 1469:2007 Вироби з природного каменю. Облицювальні плити. Вимоги (EN 1469:2004, IDT).
ДСТУ Б EN 12057:2007 (EN 12058:2003, IDT) Вироби з природного каменю. Модульні плитки. Вимоги.
ДСТУ 2446-94 (ГОСТ 30080-93) Верстати. Каменеобробні шліфувально-полірувальні. Типи та основні параметри.
ДСТУ Б В.2.7-37-95 Плити та вироби із природного каменю. Технічні умови.
ДСТУ Б В.2.7-59-97 Блоки із природного каменю для виробництва облицювальних виробів. Загальні технічні умови.
ГОСТ 6666-81 Каміння бортове з гірських порід. Технічні умови
ГОСТ 23342-91 Изделия архитектурно-строительные из природного камня. Технические условия.
ГОСТ 23668-79 Камень брусчатый для дорожных покрытий. Технические условия.

ДОДАТКИ

Додаток 1

Відповідно до пункту першого наказу Мінрегіонбуду від 30.12.2011 № 15 „Про прийняття національних стандартів“ були затверджені та з 01 липня 2012 року набули чинності національні стандарти України (далі – **національні** стандарти), які регламентують методи випробувань щодо якісних характеристик природного каміння, критерії для його класифікації та термінологію [16]:

ДСТУ Б EN 1925:2011 *Методи випробувань природного каменю. Визначення коефіцієнта капілярного водопоглинання* (EN 1925:1999, IDT);

ДСТУ Б EN 12372:2011 *Методи випробувань природного каменю. Визначення границі міцності при згині під концентрованим навантаженням* (EN12372:2006, IDT);

ДСТУ Б EN 12440:2011 *Природний камінь. Критерії для класифікації* (EN 12440:2008, IDT);

ДСТУ Б EN 12670:2011 *Природний камінь. Термінологія* (EN 12670:2001, IDT);

ДСТУ Б EN 13364:2011 *Методи випробувань природного каменю. Визначення руйнівного навантаження в монтажних отворах* (EN 13364:2001, IDT).

Відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 27.07.1994 № 512 „Про загальну класифікацію та оцінку вартості природного каміння“ природне каміння, про яке йдеться у **національних** стандартах, визначається як декоративне каміння.

Ці **національні** стандарти мають буквенний індекс ДСТУ Б EN і являють собою апробовані під вітчизняне законодавство європейські стандарти (EN) – нормативно-правові акти, що діють у сфері стандартизації країн Європейського союзу. Більшість європейських стандартів (EN) щодо декоративного каміння набули чинності в європейських країнах з 2001 року. В Україні у галузі декоративного каміння на той час діяли (і чинні зараз) ДСТУ Б В.2.7-37-95 „Плити та вироби із природного каменю. Технічні умови“ та ДСТУ Б В.2.7-59-97 „Блоки із природного каменю для виробництва облицювальних виробів. Загальні технічні умови“.

Слід зазначити, що, відповідно до наказу Мінрегіонбуду від 06.01.2011 № 2, з **01.01.2013 втрачають чинність** ДСТУ Б В.2.7-37-95 „Плити та вироби із

природного каменю. Технічні умови“ та ДСТУ Б В.2.7-59-97 „Блоки із природного каменю для виробництва облицювальних виробів. Загальні технічні умови“. Тепер цю продукцію з декоративного каміння будуть регламентувати лише ДСТУ Б EN, які набули чинності 01.10.2008:

ДСТУ Б EN 1341:2007 *Плити з природного каменю для мостіння вулиць. Вимоги і методи випробування* (EN 1341:2001, IDT);

ДСТУ Б EN 1342:2007 *Брущатка з природного каменю для мостіння вулиць. Вимоги і методи випробування* (EN 1342:2001, IDT);

ДСТУ Б EN 1343:2007 *Бордюри з природного каменю для мостіння вулиць. Вимоги і методи випробування* (EN 1343:2001, IDT);

ДСТУ Б EN 1467:2007 *Камінь природний. Блоки необроблені. Вимоги.* (EN 1467:2003, IDT);

ДСТУ Б EN 1468:2007 *Камінь природний. Плити необроблені. Вимоги* (EN 1468:2003, IDT);

ДСТУ Б EN 1469:2007 *Вироби з природного каменю. Облицювальні плити. Вимоги* (EN 1469:2004, IDT);

ДСТУ Б EN 12057:2007 (EN 12058:2003, IDT) *Вироби з природного каменю. Модульні плитки. Вимоги;*_

ДСТУ Б EN 12058:2007 (EN 12057:2004, IDT) *Вироби з природного каменю. Плитки для підлоги і сходів. Вимоги;*

ДСТУ Б EN 12371:2007 *Методи випробування природного каменю. Визначення морозостійкості;*

ДСТУ Б EN 13373:2007 *Методи випробування природного каменю. Визначення геометричних характеристик виробів* (EN 13373:2003, IDT);

ДСТУ Б EN 13755:2007 *Методи випробування природного каменю. Визначення водопоглинання при атмосферному тиску* (EN 13755:2001, IDT).

Прийняття національних стандартів на природне каміння в Україні буде стимулюючою підставою для виробництва вітчизняної продукції з декоративного каміння

відповідно до світових вимог, що тим самим забезпечить більшу конкурентоспроможність вітчизняної продукції на світовому ринку.

Крім того, в цій галузі діють нижче зазначені ДСТУ, створені на основі EN і ГОСТ, які регламентують вимоги до декоративного каміння:

ДСТУ Б В.2.7-147:2008 *Методи випробування природного каменю. Визначення морозостійкості (EN 12371:2001, MOD)* – чинний з 01.10.2008;

ДСТУ Б В.2.7-138:2007 *Щебінь, гравій та пісок декоративні із природного каменю. Технічні умови (ГОСТ 22856-89, MOD)* – чинний з 01.10.2008;

ДСТУ Б В.2.7-152:2008 *Методи випробування природного каменю. Визначення границі міцності при згині під постійним моментом (EN 13161:2001, MOD)* – чинний з 01.06.2009;

ДСТУ Б В.2.7-153:2008 *Методи випробування природного каменю. Визначення опору старіння через тепловий удар (EN 14066:2003, MOD)* – чинний з 01.06.2009;

ДСТУ Б В.2.7-154:2008 *Методи випробування природного каменю. Визначення стійкості до стирання (EN 14151:2004, MOD)* – чинний з 01.06.2009;

ДСТУ Б В.2.7-155:2008 *Методи випробування природного каменю. Визначення опору ковзанню з використанням маятникового дослідного приладу (EN 14231:2003, MOD)* – чинний з 01.06.2009;

ДСТУ Б В.2.7-197:2009 *Матеріали облицювальні з природного каменю та блоки для їх виготовлення. Номенклатура показників (на заміну ГОСТ 4.219-81)* – чинний з 01.08.2010;

ДСТУ Б В.2.7-229:2010 *Методи випробувань природного каменю. Визначення міцності при стиску (EN 1926:2006, MOD)* – чинний з 01.01.2011;

ДСТУ Б В.2.7-230:2010 *Методи випробувань природного каменю. Петрографічний аналіз (EN 12407:2007, MOD)* – чинний з 01.01.2011;

ДСТУ Б В.2.7-231:2010 *Методи випробувань природного каменю. Визначення дійсної густини, об'ємної щільності, загальної та відкритої пористості (EN 1936:2006, MOD)* – чинний з 01.01.2011;

ДСТУ Б В.2.7-241:2010 *Камінь бутовий. Технічні умови* – чинний з 01.09.2011;

ДСТУ Б В.2.7-197:2009 Каміні бортові і стінові з гірських порід. Технічні умови (на заміну ГОСТ 6666-81 та ГОСТ 4001-84) – чинний з 01.09.2011.

ДСТУ 2446-94 (ГОСТ 30080-93, міжгосударственный стандарт).

Верстати каменеобробні шліфувально-полірувальні. Типи та основні параметри – чинний з 01.01.1995. – URL: <http://normativ.com.ua/types/tdoc1450.php>

Название англ.: Stone-dressing machines grinding-polishing. Types and general data.

Описание документа: Настоящий стандарт распространяется на камнеобрабатывающие шлифовально-полировальные станки, предназначенные для выполнения шлифовальных и полировальных операций при изготовлении облицовочных плит, архитектурно-строительных и других изделий из природного камня. Стандарт пригоден для целей сертификации

ДСТУ 2973-94 (ГОСТ 28122-95) Верстати каменеобробні шліфувально-полірувальні. Загальні технічні вимоги та методи контролю

ДСТУ 2559-94 (ГОСТ 30081-93) Верстати каменерозпилювальні. Типи та основні параметри. – URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=54017

ДСТУ 2952-94 (ГОСТ 28541-95) Верстати каменерозпилювальні. Загальні технічні вимоги та методи контролю

ДСТУ 3227-95 (ГОСТ 30174-96) Верстати каменефрезерні. Типи та основні параметри– URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=53630

ДСТУ 3284-95 (ГОСТ 30369-96) Верстати каменефрезерні. Загальні технічні вимоги та методи контролю

ДСТУ 2912-94 (ГОСТ 27636-95) Устаткування каменевидобувне та каменеобробне. Загальні технічні умови. – URL– <http://epicentre.com.ua/DSTU-2912ssstr94-GOST-27636ssstr95--nrm1007.htm>

ДСТУ 3306-96 Устаткування каменевидобувне та каменеобробне. Терміни та визначення.

Професійна нормативно-правова бібліотека <http://normativ.com.ua/types/tdoc1450.php>

Додаток 2

Алмази як інструментальний матеріал мають низку унікальних фізичних, хімічних, термічних, електричних та механічних властивостей, які суттєво відрізняються від відомих природних і штучних абразивних матеріалів.

Біля 80 % всіх алмазів, які видобувають, використовують з технічною метою і лише 20 % в ювелірній промисловості. Як інструментальний матеріал переважно застосовують у абразивних інструментах (понад 80 % технічних природних алмазів) у вигляді сортованих дроблених алмазів розміром до 0,8 мм.

Таблиця Д2.1.

Фізико-механічні властивості [2]

Матеріал	Щільність г/см ³	Мікротвердість, кгс/мм ²	Модуль пружності, кгс/мм ²	Межа міцності кгс/мм ²		Коеф. Теплопровод- ності при 0°С, ккал/(см×с×°С)	Питома теплоємність, ккал/(г×°С)	Коеф. лінійн. розширення, 1/(°С×10 ⁻⁶)
				за стискання	за згину			
Алмаз	3,48-3,56	10000	90000	200 (залежить від марки)	21-49	0,35	0,12	0,9-1,45
Карбід бору	2,48-2,52	3700-4300	29600	180	21-28	0,025	–	4,5
Карбід кремнію	3,12-3,2	3000-3300	36500	150	5-15	0,037	0,14	6,5
Електрокорунд	2,00-2,10	2000-2400	–	76	8-9	0,047	0,18	7,5
Карбід титану	4,93	3200	32200	385	–	0,058	–	7,42
Кубічний нітрид бору	3,44-3,49	7500-8500	72000	50	–	–	–	–

Залежно від якості, будови й твердості розрізняють три види технічних алмазів: борт, балас та карбонадо.

Природні алмази є дефіцитними через малу кількість родовищ та низький вміст у алмазоносній породі (не більш за 0,00001 %).

В середині 60-х років були синтезовані алмази марок АСВ, АСК, АСС майже не відрізняються від природних, хоча одне від одного відрізняються формою зернин, характером їхньої поверхні, міцністю й крихкістю. Кристалічна решітка і її параметри, щільність, твердість тощо одні й ті самі.

Порівняно з іншими абразивними порошками алмазні значно абразивніші, більш тверді, мають працездатність вище. До алмазних порошоків ставлять жорсткіші вимоги за зерновим складом, міцністю й абразивною здатністю.

З 01. 01. 1971 р. в СРСР введено стандарт на синтетичні алмазні порошки, вперше у світі для шліфувальних порошоків регламентовано не лише розмір зернин, а й їхню міцність.

Алмазні порошки поділяються на дві групи:

- шліфувальні порошки з розміром зернин більш за 40-60 мкм, які отримують методом просіювання;
- мікропорошки з розміром зернин 40-60 мкм і менше, які отримують методом седиментації та центрифугування.



Седиментація (осаджування) – осідання часток дисперсної фази у рідині або газі під дією гравітаційного поля чи відцентрових сил. У полі гравітаційних сил седиментують частки грубодисперсних систем, в полі відцентрових сил – макромолекули й колоїдні частки. Седиментацію застосовують також для збагачення корисних копалин. [URL:– <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F>].

Центрифугування – відокремлення фракцій неоднорідних систем (напр., рідина – тверді частки) за щільністю за допомогою відцентрових сил. Застосовують, зокрема, центрифугування бетону для підвищення його міцності. [URL: – <https://ru.wikipedia.org/wiki/Центрифугирование>]

Для оснащення дискових сегментних пил у СРСР використовували природні алмази: алмазний концентрат (К) або алмазні зерна (З), отримані дробленням кристалів алмазів, кристали алмазів різної форми та їхні уламки, а також шліфпорошки марок АСК та АСС.

Синтетичні алмази виготовляють у значно більшій кількості, ніж добувають натуральних алмазів. Передбачена можливість управління процесом кристалізації алмазів з метою забезпечити потрібні властивості.

В СРСР були розроблені порошки із синтетичних алмазів з різноманітними властивостями. Згідно з ГОСТ 9206-80 вони поділяються на 2 групи:

- з монокристалічних алмазів (АС2, АС4, АС6, АС15, АС20, АС32, АС50, АС65, АС80, АС125, АС160);
- з полікристалічних алмазів (АРВ1, АРК4, АРС3).

Порошок АС2 має найбільш крихкі зерна і використовується головним чином у інструменті на органічних зв'язках для доводочного шліфування та полірування каменю, а порошок АС4 застосовують із металевим в'язучим у шліфувальному інструменті. Із синтетичних алмазів (кристали, агрегати, сrostки у різному співвідношенні) виготовляють інструменти на металевому в'язучому для шліфування каменю, різання м'яких гірських порід (АС32, АС50), обробки (різання, свердління) й буріння природного каменю середньої твердості (АС65, 80, АС100, АС125) та твердих порід (АС160).

Застосовують також порошки з полікристалічних алмазів АРК4 (з дробленими алмазами типу „Карбонадо“) переважно у дискових пилах та фрезах для обкантовування та фрезерування каменю низької і середньої міцності, АРС3, АРС4 – обробка й буріння порід середньої твердості..

З природних алмазів подрібненням отримують шліфувальні порошки (А1, А2, А3, А4, А5, А8) з яких виготовляють інструменти на для обробки скла, кераміки, каменю й бетону, зокрема й каменю твердих порід та будівельної індустрії (А5, А8).

Зерновий склад алмазних порошків регламентовано (ГОСТ 9206-80 Порошки алмазные. Технические условия). За розміром зерен та методом, яким їх отримують, порошки поділяють на три групи: шліфпорошки (3000-40 мкм); мікропорошки (80-1 мкм); мікропорошки (1-0,1 мкм та менше).

В інструменті для обробки каменю використовують алмазні порошки двох перших груп.

Зернистість шліфпорошків позначають дробом, числівник якого відповідає розміру сторони чарунки (рос. ячейки) верхнього сита, а знаменник – розміру сторони чарунки нижнього сита, на яких дана фракція затрималася під час просіювання. Наприклад, 400/315: зернини основної фракції цього порошку проходять через сито з розміром чарунки 400 мкм і затримуються на ситі з розміром чарунок 315 мкм.

Алмазні порошки випускають у двох діапазонах зернистості: широкому та вузькому. Наприклад, для марки АРК4 у широкому діапазоні зернистість від 2500/1600 до 63/40, а у вузькому – від 2500/2000 до 50/40. Для кожного порошка передбачено не більш за 8-15% зерен крупної фракції, не менше за 90-85% основної, не більш за 44% дрібної.

Шліфпорошки широкого діапазону зернистості використовують на невідповідальних операціях, які не вимагають підвищеної точності обробки (грубе шліфування, калібрування).

Зернистість шліфувальних не алмазних порошків позначають як 1/10 розміру сторони чарунки сита, мкм, на якому затримуються зерна основної фракції (ГОСТ 3647-80) зернистість, наприклад, 200: розмір чарунки, в яку зерна основної фракції проходять 2500, на якій затримуються – 2000.

Зернистість мікрошліфпорошків позначають за верхньою межею розміру зерен основної фракції та додають літеру М. Наприклад, М63 – розмір зерен основної фракції 63-50 мкм, М50 – 50-40 мкм, М5 – 5-3 мкм.

У західноєвропейських країнах та США діють стандарти в основі яких так зване „число меш“ (від англ. „сито“) – кількість отворів на відрізьку в один дюйм (25,4 мм) плетених дротяних сит, що їх використовують для просіювання порошків, зокрема і алмазних. Але число меш не може однозначно характеризувати зернистість, бо задано кількість отворів, а не їхній розмір. При користуванні цими стандартами треба знати відповідні стандарти країни, оскільки кількість отворів залежить від товщини матеріалу, з якого сплетено сито. Отож при характеристиці зернистості числом меш треба зазначати і країну та номер стандарту.

Наприклад, зернистості 8 меш відповідають розміри чарунки, крізь яку проходять зерна основної фракції розміром 2800 мкм і на якій затримуються зерна розміром 2360 мкм; зернистість 10 меш – відповідно 2360 та 2000 мкм.

Вміст основної фракції не менш 45% (при зернистості до 46 меш, потім – 40%). Це – показники матеріалів за стандартом FEPA (32GB1971) - європейської організації виробників абразивів. До них є близькими стандарти США та Японії.

В'язучий матеріал (рос. – связка). У каменеобробному інструменті використовують два основних види в'язучого матеріалу: металевий та неметалевий.

Розрізняють три основні групи металевого в'язучого матеріалу:

- м'які мідно-олов'яні;
- середньої твердості на кобальтовій основі;
- тверді на основі карбиду вольфраму й кобальту.

При виготовленні сегментів найчастіше застосовують метод порошкової металургії (суміш металевих порошоків з іншими компонентами ущільнюють та спікають при температурі, яка є нижчою за температуру плавлення хоча б одного з компонентів. Спресований матеріал отримує фізико-механічні властивості, які наближаються до властивостей аналогічних матеріалів, отриманих литвом). Використання в якості початкових матеріалів порошоків дозволяє формувати у прес-формі заготовки, що є точними за формою і розмірами, і, відповідно, зменшити до мінімуму механічну обробку.

На відміну від литва, порошкова металургія дозволяє створювати композиції, які містять матеріали, що неможливо сплавити один з одним. Саме це і використовують при закріпленні алмазних часток у металевому в'язучому. Для збільшення міцності закріплення алмазів у пористому шарі треба використовувати матеріали, які хімічно взаємодіють з алмазами під час спікання, тобто міцність утримування забезпечується не лише силами механічного закріплення, а й хімічним з'єднанням в'язучого з алмазами. Такі в'язучі називають адгезійно-активними.

Міцне закріплення алмазів забезпечується в разі використання як основи в'язучого заліза, кобальту, нікелю, хрому, сталі, твердого сплаву. Але ці матеріали у чистому вигляді як в'язуче не застосовуються, бо вони погано пресуються за помірних тисків, а їхня термообробка повинна здійснюватися за високих температур. Для покращення здатності до пресування та зниження температури спікання у композиції на основі вказаних металів вводять пластичні матеріали – мідь, олово і ін. Введення цих металів знижує

опір в'язучого до абразивного зношування, але зносостійкість алмазного шару лишається високою, бо введення пластичних матеріалів у в'язуче призводить до кращого злипання та збільшення міцності утримування алмазних зерен.

Послідовність виготовлення всіх типів м'яких і середньої твердості в'язучих у прес-формах з жароміцної сталі: холодне пресування, спікання у відновлюючому середовищі, гаряче пресування (допресовування під час охолодження прес-форми). Режим гарячого пресування: тиск 1,6...6,5 т/см²; температура до 850° С.

В СРСР у алмазних дискових пилах, які випускались серійно і призначались для обробки природних каменів середньої твердості та м'яких, застосовувалося механічне в'язуче на мідяно-олов'яній основі М1 (розробка ВНИИ Алмаз), в інструментах конструкції ИСМ АН УРСР аналогічного призначення – в'язуче на мідяно-олов'яній основі з додаванням окису заліза МЗ, для різання твердих порід каменю – в'язуче на кобальтовій основі МОЗ.

Найтвердіші та зносостійкі в'язучі виготовляють на основі твердих сплавів методом гарячого пресування при короткочасному впливові (до 5 хв) високої температури (до 1400° С). Час нагріву строго обмежено через можливе окислення й графітізацію алмазів. Алмазомісткі елементи пресують у прес-формі за кімнатної температури і тискові до 8 т/см², потім спікають у графітовій формі при тискові до 0,3 т/см². Використовують також метод промочування: алмази змішують з металевими порошками, пресують у пористий брикет, який просякнуто розплавленим металом – тим, температура плавлення якого нижче за температуру плавлення інших компонентів. Так виготовляють в'язуче М50 на основі твердого сплаву, яке йде на сегменти з природних алмазів для дискових сегментних пил, призначених для різання твердих порід каменів.

Концентрація алмазів у алмазоносному шарі може бути 25, 50, 75 и 100%. За 100% прийнято вміст алмазів 0,88 г на 1 см³ алмазоносного шару (1,14 г в 1 дюйм³).

Додаток 3

Послідовність перевірки дискових пил

I) Перевірити діаметр посадкового отвору

Перевіряють перед встановленням дискової пили на верстат. Діаметр повинен співпадати з діаметром валу або перевищувати його на 0,05 мм. В іншому разі треба застосовувати перехідну втулку.

II) Напрямок обертання

Повинен відповідати напрямку стрілки, яку нанесено на корпусі.

III) Стан механічної частини

До встановлення дискової пили треба очистити верстат, притискні фланці й вал від бруду та іржі.

IV) Діаметр фланця

Впливає на стабільність роботи дискових пил. При роботі з великими поздовжніми подачами бажано використовувати великі діаметри фланців і зменшувати при цьому глибину врізання. За будь-яких режимів роботи діаметр фланця не повинен бути менше ніж 1/4 діаметру дискової пили.

V) Перпендикулярність фланця

Величина відхилення від перпендикулярності не повинна перевищувати 0,3 мм. Перевірку виконують за допомогою рівня.

VI) Торцеве биття фланця

Перевірку виконують за допомогою магнітної стійки й індикатору годинного типу з ціною поділки 0,01 мм, для чого необхідно розташувати магнітну стійку на столі верстата, а ніжку індикатора на торці фланця максимально близько до його зовнішнього діаметра. Вирощують фланець вручну так, щоб він зробив повний оборот. Відхилення на циферблаті індикатора фіксувати і його значення не повинно перевищувати 0,08 мм.

VII) Радіальне биття валу.

Перевірити радіальне биття валу. Перевірка проводиться за допомогою магнітної стійки і індикатора годинникового типу з ціною поділки 0,01, для чого

Верба І.І.
Обладнання для обробки природного каменю

необхідно розташувати магнітну стійку на столі верстата, а ніжку індикатора на валу. Обертають вал вручну так, щоб він зробив повний оберт. Відхилення на циферблаті фіксують, його значення не повинно перевищувати 0,01 мм.

VIII) Торцеве биття корпусу дискової пили

Перевірка проводиться за допомогою магнітної стійки і індикатора годинникового типу з ціною поділки 0,01, для чого необхідно розташувати магнітну стійку на столі верстата, а ніжку індикатора – на торці корпусу пили якомога ближче до її зовнішнього діаметру. Обертати корпус пили так, щоб він зробив повний оберт. Відхилення на циферблаті фіксують, його значення не повинно перевищувати значень, наведених у табл. ДЗ.1.

Таблиця ДЗ.1

Діаметр дискової пили, мм	Торцеве биття, мм	Діаметр дискової пили, мм	Торцеве биття, мм
300,320	0,2	300,320	0,2
400	0,25	400	0,25
500	0,35	500	0,35
630	0,45	630	0,45
800	0,55	800	0,55
1000	0,7	1000	0,7
1100	0,75	1100	0,75
1250	0,85	1250	0,85

IX) Відхилення від паралельності

Провіряють відхилення від паралельності напрямку руху стола й площини встановлення дискової пили. Перевірка здійснюється за допомогою магнітної стійки і індикатора годинникового типу з ціною поділки 0,01, для чого необхідно розташувати магнітну стійку на столі верстата, а ніжку індикатора – на торці корпусу пили якомога ближче до алмазного шару. Переміщують стіл верстату з індикаторною стійкою до протилежної сторони корпусу пили нижче фланця до алмазного шару. Відхилення на циферблаті фіксують. Потім обертають дискову пилу вручну таким чином, щоб здійснити повний оберт.

Отримане значення відхилення на циферблаті фіксують. Різниця між отриманими результатами вимірювань не повинна перевищувати значень, наведених у табл. ДЗ.2.

Таблиця ДЗ.2

Діаметр дискової пили, мм	Відхилення від паралельності напрямку руху стола й площини встановлення дискової пили, мм
300; 320	0,1
400-630	0,2
800-1250	0,3

Таблиця ДЗ.3

Рекомендації з експлуатації алмазних відрізних сегментних дискових пил (кругів)

Оброблюваний матеріал	Колова швидкість, м/с	Глибина різання, см	Поздовжня подача, см/хв
Кольорові граніти	18÷25	0,5÷1,5	100÷400
Габбро, лабрадорит	25÷30	1,0÷3,0	

Питома продуктивність, яку не зовсім точно називають також швидкістю різання V_t (см²/хв.), – фактор оцінки ефективності процесу різання:

$$V_t = P_t \cdot A_v,$$

де P_t – глибина різання (см); A_v – поздовжня подача (см/хв).

За нормальних умов експлуатації дискової пили питома продуктивність знаходиться в межах 250-400 см²/хв.

Охолодження

Подача значного потоку охолоджуючої рідини (проточної води) – фактор, який має вплив на стабільність процесу різання дисковою пилою.

Рекомендуються наступні витрати води:

- для дискових пил діаметром 250-500 мм – 10-15 л/хв;
- для дискових пил діаметром 630-1250 мм – 20-30 л/хв.

Додаток 4

ДСТУ 2559-94

Галузь використання

Цей стандарт поширюється на каменерозпилювальні верстати, призначені для розпилювання блоків з природного каменю на бруски і плити-заготовки або розрізування їх на облицювальні плити, архітектурно-будівельні та інші вироби.

Стандарт придатний для сертифікації.

Вимоги цього стандарту є обов'язковими.

2 Типи

2.1 Установлені такі типи каменерозпилювальних верстатів:

- штрипсові з прямолінійним рухом інструменту – 1;
- штрипсові з маятниковим рухом інструменту – 2;
- штрипсові з комбінованим рухом інструменту – 3;
- з гнучким різальним інструментом – 4;
- дискові двостоякові – 5;
- дискові консольні – 6;
- дискові порталні – 7;
- дискові ортогональні – 8;
- дискові мостові – 9.

2.2 Допускається застосовувати спеціальні каменерозпилювальні верстати, призначені для виконання певних технологічних операцій і оснащені спеціальним різальним інструментом.

3 Основні параметри

Основні параметри каменерозпилювальних верстатів повинні відповідати зазначеним на рисунках 1-9 та в таблиці 1.

Примітка. Рисунки не визначають конструкцію верстатів.

Додаток 5. Верстати каменеобробні. Виробник – BAYEL . Україна, 10005, г. Житомир. ул. Черняховського 104

тел./факс: +38 (0412) 244-405 тел.: +38 (0412)480-211 www.bayel.com.ua e-mail: bayel.zt@mail.ru

ВКК-800
Станок для обробки природного каменю





ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. Габаритные размеры, м (не более) L*B*H 4000*2500*1700
2. Вес (не более), кг 1500
3. Размеры стола, м L*B 1200*1000
4. Степень защиты электрических аппаратов IP-54
5. Максимальная мощность электродвигателя, кВт 7,5
6. Высота от пола до рабочей поверхности стола, мм 300
7. Электрическая сеть 380v, 50Гц
8. Диаметр пилы, мм 300
9. Диаметр фазного инструмента, мм до 120
10. Перемещение стола, инструментального супорта ручное
11. Климатическое исполнение (для защиты поверхности) УХЛ-4
12. Подача охлаждающей жидкости (воды), л/ж 30

МКВ-600/2
Машина камнерезная окантовочная двухсуппортная МКВ-600/2 - предназначена для распиловки слэбов и плит, придания им нужной формы.






ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Габаритные размеры (не более) (мм)	5000*5000*1800
Вес (кг)	4000
Рабочий ход моста (мм)	3400
Поперечное перемещение суппорта (мм)	1400
Вертикальное перемещение суппорта (мм)	240
Глубина распила (мм)	200
Диаметр дисковой пилы (мм)	600
Охлаждение пилы (л/мин)	60
Установленная мощность кВт	21

ВБУ-1
Станок многооперационный универсальный





ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Инструментальная головка поворачивается в вертикальной плоскости до	90°
Мощность главного двигателя	1,5 кВт.
Частота вращения	регулируется, до 4000 об/мин.
Габаритные размеры	1800x2200x1800мм.

Верба И.И.
Обладнання для обробки природного каменю

ВФ-2

Станок фасочный
предназначен для фасонной обработки изделий из натурального камня (подоконники, плинтуса, столешницы, ступени)



ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Максимальное продольное перемещение инструмента, мм	- 3100
Максимальное поперечное перемещение инструмента, мм	- 600
Вертикальный (наладочный) ход инструмента, мм	- 60
Посадочный диаметр инструмента, мм (по заказу)	- 18, 32
Мощность главного двигателя, кВт, об/мин	- 3/3000
Продольное перемещение инструмента	- автоматическое
Поперечное перемещение инструмента	- ручное
Размеры стола, мм LxB	- 3000x1000
Габаритные размеры, мм (не более) LxBxH	- 4100x1200x1800
Вес (не более), кг	- 1300
Стол поворотный	Ш800мм - по заказу

ВФВ-400-3000

Станок камнерезный комбинированный
фасочно-отрезной
Выполняется прямая распиловка и распиловка под углом до 45°



ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. Габаритные размеры L*B*H, мм (не более)	3950*1500*1650
2. Вес (не более), кг	650
3. Скорость резания, мм/сек	по заказу
4. Длина распиловки, мм (max)	3000
5. Глубина распила, мм (max)	60
6. Диаметр режущего диска, мм (max)	400
7. Диаметр фасонного инструмента, мм (max)	120
8. Скорость перемещения пилы регулируемая (м/мин)	0...8
9. Поворот режущей головки, град.	90

МАКК-750

Машина алмазно-канатная камнерезная МАКК-750 предназначена для добычи блоков природного камня в открытых карьерах.



ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Установленная мощность, кВт	37
Скорость резания, мм/с	22-32
Диаметр приводного шкива, мм	750
Поворот каретки, град	360
Поперечное перемещение каретки, мм	420
Расстояние между двумя параллельными резами без переустановки, мм	800...1500
Габаритные размеры, мм:	
- длина	3000
- ширина	1450
- высота	1300
Вес, кг (не более)	2200

ВКРП-1М

Станок колінно-рычажний полірувальний призначений для полірувки і шліфувки каменних плит і блоків. Підйом і опускання траверси механізовані.



ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Наибольшие размеры обрабатываемого изделия мм:	
длина	2000
ширина	1300
толщина	250
Установленная мощность, кВт	4,75
Частота вращения шпинделя, об/мин	300
Габаритные размеры: мм (без стола)	
длина	3150
ширина	850
высота	2200
Масса (без стола), кг	390

ВКР-350-1000

Станок для распиловки слябов из природного и искусственного камня



ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. Габаритные размеры, м (не более) L*B*H	1500*750*1300
2. Вес (не более), кг	150
3. Размеры стола, м L*B	1300*650
4. Диаметр режущего диска	350, (400)
5. Максимальная длина реза, мм	1000
6. Максимальная глубина распила, мм	80
7. Перемещение режущего диска	ручное
8. Поворот режущей головки, градус	до 45 (с фиксацией через 15)
9. Мощность главного двигателя, кВт	2,2
10. Напряжение питающей сети, в	380
11. Степень защиты	IP-54
12. Расход охл. воды, л/мин.	15

УБС-40

Установка буровая

Предназначена для получения строчки шпуров в горных породах типа гранита при добыче блоков в карьерах бурошлиновым способом. Установка может также использоваться для разделки негабаритных блоков любых пород камня.



ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Производительность с коронкой	40 мм-300 мм/мин
Количество перфораторов	1 шт.
Расход воздуха	5 м³/мин
Масса	340 кг

Верба І.І.
Обладнання для обробки природного каменю

УБ-90

Установка бурова для вертикального и горизонтального бурения шпуров в природном камне



ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. Диаметр бурения	до 90 мм
2. Глубина бурения	до 15 м
3. Рекомендуемое давление сжатого воздуха	0,6 МПа
4. Расход воздуха	8 м ³ /мин
5. Число оборотов хвостовика	50 об/мин
6. Скорость бурения (для гранита)	1,5 м/час
7. Масса	280 кг

ВКФБ-350/5

Станок камнерезный многопильный
Станок используется для изготовления брусков или облицовочной плитки шириной 10, 20, 30, 40, 50, 60 мм. из плиты толщиной до 30мм. Обрабатываемый материал: мрамор, гранит.



ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Количество устанавливаемых отрезных дисков	5 шт
Диаметр отрезного диска, мм	350 (315)
Размер обрабатываемой плиты, мм	600×800×30
Номинальное напряжение, В	380
Установленная мощность, кВт	7,2
Скорость вращения шпиндельного вала, п.	2000
Максимальная глубина резания, мм	30
Подача – ручная механизированная	
Подвод охлаждения	централизованный
Вес кг (так)	300

МАКК-400 П

Машина алмазно – канатная
камнерезная МАКК-400 П предназначена для пассивки блоков



ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. Установленная мощность, кВт	8
2. Линейная скорость каната, мм/с	по заказу
3. Диаметр маховика, мм	400
4. Рабочий ход, мм	2500
5. Поперечное перемещение, мм	2500
6. Скорость рабочего хода	регулируемая
7. Габаритные размеры, мм	
-длина	3000
-ширина	3000
-высота	1500
8. Вес, кг (не более)	350

МКМ-600

Машина камнерезная мостовая

Предназначена для порезки, окантовки слябов из природного или искусственного камня.
Комплектуется поворотным или подъемно-поворотным столом (по заказу).



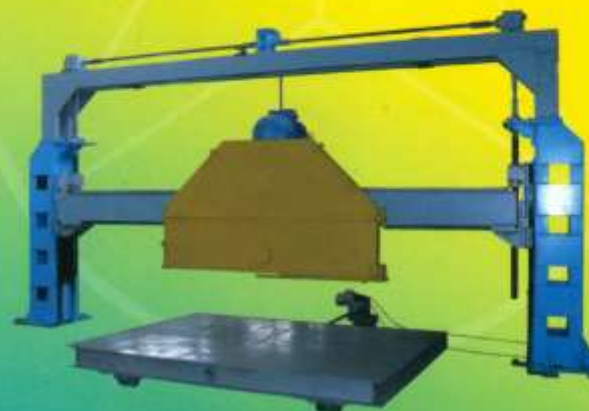
ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Диаметр режущего диска (max)	600 мм.
Количество режущих дисков	1 шт.
Мощность главного двигателя	7,5 кВт.
Общая условленная мощность	9,5 кВт.
Скорость вращения режущего диска до	3000 об/мин.
Скорость продвижения моста и каретки регулируемая	0...10 м/мин.
Размеры стола, В×Л	1700×3000 мм.
Габаритные размеры L×В×Н	4500×5050×3000 мм.
Общий вес (не более)	3100 кг.

МКМ-1600/2000

Машина камнерезная маятниковая

Предназначена для распиловки гранитных блоков, фрезерования гранитных плит дисковыми алмазными пилами.



ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Габаритные размеры (без тележки с приводом) (мм)	6000×1300×3500/4800
Вес (кг)	5700
Поперечное перемещение каретки (мм)	3300
Вертикальное перемещение каретки (мм)	800/1000
Число оборотов дисковой пилы (об/мин)	360/280
Глубина распила (мм)	600/800
Габаритные размеры стола (мм)	3000×2200
Режим работы	полуавтоматический
Скорость перемещения пилы (м/мин)	0...8
Охлаждение пилы (л/мин)	60 (min)
Установленная мощность (кВт)	29
Диаметр дисковой пилы (мм)	1600/2000