

М. В. КАСЬЯН

РАЗВИТИЕ ДОБЫЧИ И ОБРАБОТКИ ПРИРОДНОГО КАМНЯ

Республика «на камне»—с горечью говорили раньше. Природный камень—это богатство нашей республики—говорят теперь.

В самом деле, такое сосредоточение каменных материалов на небольшом участке, какое имеется в Армении, трудно встретить еще где-либо. К тому же диапазоны их физико-механических свойств, декоративные качества и технологические возможности чрезвычайно широки. Этими непереоценимыми качествами в сочетании с долговечностью нужно объяснить то любовное отношение к камню, которое широко проявили наши предки, оставив нам чудесные памятники старины и непревзойденные архитектурные произведения. Искусство наших предков выдержало века и дошло до нас благодаря изумительным свойствам камня.

И если сегодня, как и много лет назад, мы в какой-то степени продолжаем рассматривать наш природный камень как строительный материал, то это лишь временное представление. В действительности же наши природные каменные материалы таят в себе огромные возможности. Путем различных видов и принципов переработки из них можно получить сырье для химической промышленности, для особых сортов текстиля, высокосортного стекла, высококачественной изоляционной и фильтрационной техники и других отраслей.

Более того, из природных камней можно изготовить многочисленные изделия для бумажной промышленности, для сложных химических производств, бордюры, ступени и многое другое.

Рассматривая природные каменные материалы с позиций их использования для строительных целей, мы приходим к заключению о необходимости разделки массивов вулканического камня на отдельные куски, удобные для возведения из них тех или иных сооружений. Существует большое многообразие в применении каменных материалов в строительстве. Могут

быть использованы и крупные блоки, и вырезанные из массива сравнительно небольшие, удобные для ручной кладки, штучные камни стандартных размеров, и специальные плиты для облицовки фасадов зданий и, наконец, мелкие фракции, в основном отходы, используемые в качестве заполнителя при изготовлении бетонных и железобетонных плит и конструкций. Выбор размеров производится исходя из горно-технических и геологических условий залегания камня, а также из условий получения минимальной стоимости камня в стене сооружения.

Наши каменные массивы, в особенности туфовые, отличаются, и часто, трещиноватостью самого различного происхождения (тектоническое, термическое, атмосферное). В связи с этим направления развития трещин совершенно не подчиняются тем или иным законам.

Естественно, что наличие трещин накладывает определенный отпечаток на камень. Действительно, если общую длину всех трещин, отнесенную к одному квадратному метру площади забоя, отметим через « m », то, очевидно, полезный выход камня « u » из горного массива « c » составит

$$u = m \cdot c;$$

причем с увеличением размеров вырезаемого камня величина коэффициента « m » соответственно уменьшается.

Следовательно, для удовлетворения потребностей в строительном камне определенных размеров необходимо из горного массива отделить их наиболее рациональным путем.

В современных условиях для направленного разрушения камня с приданием ему правильных очертаний имеется возможность воздействовать на него различными методами. Наиболее эффективными из них являются: механическое резание с использованием твердосплавного режущего инструмента; такое же резание с использованием абразивного инструмента, в том числе из синтетического алмаза; применение газодинамической струи высокой температуры и высокого давления; использование плазмы, луча оптико-квантового генератора, ультразвука и других энергетических источников.

Исследования, проведенные в этом направлении в Армянском институте камня, показали, что у каждого из этих методов имеется своя область применения, при условии, если мощность соответствующих установок останется на данном уровне. Если же возможности установок расширить до экономически выгодных пределов для целей воздействия на камень, то соответственно раздвинутся рациональные области применения.

Это и понятно: у каждого из этих методов имеется иногда одно, а иногда и несколько очень важных преимуществ—особенностей, присущих только ему. Например, применение мощных молекулярных генераторов с непрерывным лучом может одновременно резко уменьшить ширину прорези для разделки камня от массива. К тому же благодаря резкому уменьшению веса установки и отсутствию усилий разделки можно было бы отказаться от наземных рельсов и перейти к переносным подвесным путям.

Или: если бы удалось однозначно решить проблему подачи воды для охлаждения контактной зоны при резании алмазными кругами, то было бы весьма целесообразным применение на наших карьерах камнерезных машин, оснащенных дисковым алмазным инструментом. В этом случае производительность машины увеличилась бы в несколько раз, соответственно снизилась бы себестоимость штучного камня при одновременно резком улучшении качества его поверхности.

Итак, различная степень прогресса техники в той или иной отрасли промышленности определяет ту экономически выгодную область использования, которая при последующем развитии либо расширяется, либо меняется. В самом деле, если наши предки, используя только ручной труд, добывали отдельные камни больших размеров и не считались с коэффициентом выхода, то в последующие годы новые виды воздействия инструмента на камень развили область применения камней меньшего размера для широкого использования их в домостроении. Сегодня, исходя из уровня развития камнеобрабатывающей техники и области ее использования, наибольшее развитие получило резание камня в массиве инструментом, армированным твердым сплавом. Но при одном и том же материале режущего инструмента существует определенное многообразие его использования. Так, максимальное развитие получило применение режущего инструмента в виде дисковой пилы, зубцы которой оснащены твердым сплавом, в основном однокарбидным. Режимы работы такой пилы, конечно, не произвольны. Они должны быть подчинены требованию максимальной производительности с учетом всех особенностей процесса.

Наибольший интерес в указанном разрезе приобретает скорость резания «V», поскольку производительность процесса резания «П» пропорциональна скорости резания. Это видно из выражения

$$П = \frac{AV}{u_1(1+m_1)}$$

Но с увеличением скорости резания в условиях обработки хрупкого материала, обладающего высокими абразивными свойствами, каковыми отличаются камни вулканического происхождения, повышается температура контакта задней грани инструмента с обрабатываемой поверхностью. В зоне высокой температуры контакта происходят следующие явления, увеличивающие интенсивность изнашивания рабочих граней инструмента: 1) под действием высокой температуры сильно развиваются диффузионные процессы, играющие для твердосплавных спеченных материалов особую роль; 2) при этом карбиды вольфрама распадаются и инструмент теряет свою режущую способность; 3) начинают сказываться адсорбционные явления, содействующие химическому изнашиванию; 4) режче сказываются абразивные свойства камня.

В результате совместного действия всех этих факторов сокращается стойкость режущего инструмента. Экспериментальные исследования показали, что зависимость износа рабочих граней режущего инструмента от скорости резания выражается кривой, имеющей минимум в определенной зоне скоростного поля. Таким образом, интенсивность изнашивания инструмента $\frac{d\Delta}{dt}$ по мере увеличения скорости резания

уменьшается, в определенной зоне скорости касательная к указанной кривой становится параллельной оси скоростей, а затем при дальнейшем увеличении скорости интенсивность резко возрастает. Возрастание интенсивности изнашивания объясняется в первую очередь повышением температуры контакта, содействующей проявлению тех явлений, о которых речь была выше. Вполне очевидно, что та зона скоростей при резании с которой интенсивность изнашивания стремится к минимуму, может быть принята за оптимальную. Величины скоростей, соответствующих указанным оптимальным значениям, зависят от физико-механических свойств обрабатываемого камня. Так, например, по мере увеличения твердости камня от $40 \div 50 \text{ кгс/мм}^2$, по Бринелю, для туфов арктического типа зона оптимальных скоростей составляет $V_{\text{опт}} = 250 \div 300 \text{ м/мин}$ и уменьшается до $200 \div 225 \text{ м/мин}$ для камней твердостью $60 \div 80 \text{ кгс/мм}^2$, до $90 \div 100 \text{ м/мин}$ для камней твердостью $100 \div 110$ и до $50 \div 60 \text{ м/мин}$ для базальтов твердостью $140 \div 160 \text{ кгс/мм}^2$. Иначе говоря, зависимость оптимальной скорости резания от твердости камня, определенной по Бринелю, выражается приблизительно уравнением неравнобокой гиперболы:

$$HV_{\text{опт}}^k = C.$$

Следовательно, если камнерезная машина предназначена для работы в различных каменных карьерах с меняющимися свойствами камня, то и она должна обладать возможностью изменения скоростей дисковой пилы и настраиваться на нужную скорость переключением элементов главного привода.

При работе дисковой фрезы определенной толщины срезаемый слой имеет переменную толщину. Она меняется приблизительно по синусоиде, т. е.

$$a_x = S_z \sin \varphi_x.$$

где φ означает угол контакта диска с камнем, а S_z — величину подачи, отнесенной к одному зубу диска.

Полное усиление резания, направленное по касательной к окружности диска, может быть определено из выражения

$$P_z = C_1 b S_z^y \int_0^{\varphi} \sin^y \varphi d\varphi,$$

в котором C_1 характеризует свойства камня, b означает ширину прорези.

Решение этого интеграла не представляет трудности. Произведение усилия на скорость резания характеризует и мощность процесса и одновременно, после деления этого произведения на объем срезанной стружки, удельную энергоемкость процесса. Последняя, с одной стороны, характеризует обрабатываемость камня, а с другой, — при обработке камня данной породы характеризует самый процесс воздействия инструмента на камень. Удельная энергоемкость при обработке камня данной породы прямо пропорциональна поверхности разрушенных, вновь образованных частиц, заключенных в одном кубическом миллиметре. Это вытекает из закона Реттингера. Следовательно, чем крупнее откалываемые в процессе резания частицы, тем меньше их удельная поверхность и тем меньше энергоемкость процесса. Увеличение энергоемкости процесса может сказаться отрицательно не только с точки зрения повышения расхода электроэнергии. Больше того, это повышение даже не столь существенно, потому что в стоимости машино-часа работы камнерезной машины стоимость электроэнергии составляет не более 3—4%. Но повышенная энергоемкость процесса отрицательно влияет на состояние режущего инструмента. Дело в том, что энергия рассеивается на поверхности контакта в виде тепла, часть которого переходит в режущий инструмент, вызывая в нем все те явления, о которых было сказано ранее. Вполне понятно, что в условиях резания камня с увеличением размера зубцов дис-

ковой пилы и величины подачи, отнесенной к одному зубу, размеры разрушаемых частиц, увеличиваясь, приводят к уменьшению тепловыделения и это положительно сказывается на работе инструмента.

В древнее время, когда использовались только ручной инструмент и мускульная сила, этот вопрос приобретал особо важное значение наряду с вопросом создания в камне напряжений растяжения, поскольку предел прочности камня на растяжение приблизительно в десять раз меньше предела прочности на сжатие.

В настоящее же время, при высокой доле стоимости заработной платы, в стоимости машино-часа работы основной приоритет приобретает высокая производительность процесса. Так, например, замена сравнительно дешевой дисковой пилы, оснащенной твердосплавными резами, на более дорогую алмазную дисковую пилу, характерную высокой энергоемкостью, во всех случаях воспринимается положительно, главным образом потому, что при этом резко повышается производительность процесса и стойкость инструмента и, в конечном счете, снижается себестоимость обработки при одновременном улучшении качества поверхности камня.

Определенный интерес представляет абразивная отрезка или прорезка камня, в частности его алмазная обработка. Выше было сказано о большой роли температуры нагрева алмазоносного слоя диска. Учитывая высокую энергоемкость процесса алмазного резания и наличие большого числа алмазных зерен сравнительно малых размеров, можно заключить, что рассеиваемое у поверхности контакта количество тепла будет большое и это может отрицательно отразиться на стойкости диска, армированного синтетическим алмазом. Важно при этом знать положение фронта температуры в алмазоносном слое в функции времени. Как указывалось выше, часть рассеиваемого на поверхности контакта тепла переходит в материал диска. Это тепло повышает температуру соседних частиц алмаза и при выходе из контакта с обрабатываемым камнем температура их несколько снижается под влиянием окружающего воздуха и высокой скорости вращения диска. Это явление повторяется при каждом обороте круга, а потому температура непрерывно растет до тех пор, пока не установится определенное равновесие. При переходе от одной породы камня к другой наиболее характерной величиной является удельная энергия, отнесенная к единице объема разрушения q .

Учитывая, что в условиях резания камня его длина вдоль подачи может быть принята бесконечной, а вследствие малой

теплопроводности алмазонасного слоя диска распространение тепла будет происходить в радиальном направлении, можно написать уравнение теплопроводности в следующем виде:

$$\gamma_0 C_0 \frac{\sigma T}{\sigma \tau} = a \frac{\sigma^2 T}{\sigma y^2},$$

где γ_0 —плотность, C_0 —удельная теплоемкость, T —температура, a —температуропроводность, τ — время, y — координата. При начальных граничных условиях

$$T(y, 0) = T_a \quad \text{и} \quad T(\infty, \tau) = T_a,$$

причем T_a означает температуру начальной среды.

При соответствующем выражении теплопроводности для камня можно составить общее уравнение энергии, принятое для элементарного объема, окружающего поверхность контакта:

$$q_{st} = -tk_x \frac{\sigma T_x(D, \tau)}{\sigma x} - \Pi DK \frac{\sigma T(D, \tau)}{\sigma y} + \Pi DL [T(D, \tau) - T_0].$$

Здесь S —подача, t —глубина резания, α —общий коэффициент теплоотдачи, D —диаметр алмазного диска.

После сложных преобразований приведенного уравнения и введения безразмерных величин, а также используя результаты специально проведенных экспериментов, получим следующее выражение для определения температуры на поверхности контакта алмазного диска и обрабатываемого камня:

$$T_x = T_a + \left[\frac{0.6 \tau_1^{0.3}}{e+1} \left(\frac{1}{r^{0.67}} + m_0 e^{0.44} \right) \right] \frac{q}{\gamma_0 C_0}.$$

В это уравнение введены следующие безразмерные величины, связывающие основные физические свойства инструмента и обрабатываемого камня:

$$\begin{aligned} \tau_1 &= \frac{S_{\min}^2}{a} \tau; & \tau &= \frac{L}{S_{\min}}; \\ e &= \frac{\Pi D \alpha}{t \gamma_0 C_0 S_{\min}}; & r &= \frac{\Pi D}{t} \sqrt{\mu} \\ \mu &= \frac{\gamma_a C_a \lambda_a}{\gamma_k C_k \lambda_k}; & m_0 &= 0,142. \end{aligned}$$

В данном выражении все входящие величины либо характеризуют тепловые свойства материала, либо связаны с элементами процесса резания. В последний период в литературе появились сведения о коэффициенте теплоотдачи с поверхности вращающегося цилиндра конечной длины и, в частности, для шероховатой поверхности, характерной для алмазно-носного слоя диска.

Для определения коэффициента теплоотдачи с поверхности диска можно воспользоваться следующим эмпирическим выражением:

$$\alpha = \alpha_0 + 1,34 D^{0,4} n^{0,7},$$

где α_0 — коэффициент теплоотдачи излучением при коэффициенте излучения поверхности 0,8, D — диаметр диска в метрах, n — число оборотов диска в одну минуту. Здесь α выражена в $\text{ккал/час м}^2\text{С}$.

Если на основании этих данных рассчитать температуру на поверхности контакта, то легко понять строгую необходимость непрерывного охлаждения диска, что, однако, связано с затруднениями.

Поэтому основные типы камнерезных машин, используемых почти на всех карьерах, оснащены главным образом дисковыми пилами, армированными твердосплавным инструментом. Эти машины появились на карьерах сравнительно недавно, улучшив техническую культуру эксплуатации карьеров. Однако динамическая характеристика этих машин требует определенного улучшения конструктивной жесткости и устойчивости. Дело в том, что процесс резания такими инструментами является прерывистым, а нагрузка на каждый режущий зуб диска меняется по синусоиде. Частота импульсов представляет в этом случае произведение числа одновременно работающих дисков на число зубьев диска и секундное число оборотов. В зависимости от взаимного расположения дисков между собой эта частота может меняться в определенных пределах (от 50 до 300 герц). Кроме указанного источника вынужденных колебаний нагрузки, имеется ряд дополнительных источников (дебаланс роторов электродвигателей, устанавливаемых на машине, биение быстровращающихся деталей в коробках и др.). Таким образом, спектр вынужденных колебаний широкий, и так как спектр собственных колебаний конструкции камнерезной машины также отличается многообразием частот, то поэтому в процессе работы машины могут иметь место несколько резонансных областей. Сложность подбора значений параметров конструктивных узлов машины:

вынуждает часто выбирать более свободные технологические режимы работы, часто не соответствующие оптимальным условиям.

Вибрации машины приводят к проскальзыванию катков по направляющим и это серьезным образом отражается на ее производительности, создавая неравномерность нагрузки, периодически увеличивая и уменьшая ее. Для некоторого смягчения влияния этих факторов применяют диски с неравномерным шагом расположения зубцов, а также различные демпферы. Дифференциальное уравнение, например, крутильных колебаний камнерезной машины, исходя из условий Даламбера, можно записать в следующем виде:

$$J_n \frac{d^2 \theta_1}{dt^2} + Mg + DS \sin \omega + \frac{u^1}{r_1 - r_2} (\theta_1 - \theta_2) = 0.$$

Здесь J_n — момент инерции установки дисков на кручение, Mg — приведенный к дискам момент сил инерции на кручение кронштейна, P — суммарные усилия в ветвях кронштейна, u — жесткость на кручение единицы длины кронштейна; остальные величины представляют конструктивные размеры или зависят от них.

Имея в виду основные достоинства лазеров — когерентность, направленность, монохроматичность, значительную яркость и высокую частоту излучаемых волн, была проведена серия опытов по использованию лазера для обработки камней высокой прочности в лабораторных условиях. Конечно, весьма соблазнительно выглядит карьерная машина, оснащенная такой установкой, при которой сама машина не будет реакцией сил сопротивления камня прорезания. Ведь конструкция, размеры машины, ее перемещение становятся весьма удобными и технологичными, а эксплуатация упрощается. Плотность потока определяется из известного выражения:

$$E = \frac{\Phi k}{\lambda^2 f^2} \text{ Дж/м}^2,$$

в котором Φ — лучистый поток лазера, k — входная площадь оптики, λ — длина волны лазера, f — фокусное расстояние оптики, которое достигает значения $10^8 \div 10^{12}$ ватт на квадратный метр пятна. Данная плотность потока значительно выше плотности потока Солнца — под его действием могут испариться самые твердые материалы, в том числе алмазы. Опыты подтвердили эти возможности почти для всех пород прочных камней, но, очевидно, сегодня еще рано говорить об экономически выгодном использовании лазера в горных условиях.

Наряду с этим пришло время подумать о характере и возможной конструкции установки.

Проведенные исследования показали, что использование плазменной струи все еще недостаточно эффективно для про-резания щелей в каменных массивах, главным образом пото-му, что высокая температура плазмы слишком энергично оп-лавляет каменную породу, и расплавленная масса, облегая вновь образованную поверхность, создает с ней весьма проч-ные соединения.

Вместе с тем для некоторых пород камня другой источник тепла—газовая высокотемпературная струя, выпускаемая из сопла с высокой скоростью и при определенном давлении, ин-тенсивно разрушает породу, не оплавливая ее.

Учитывая весьма интересные результаты применения га-зодинамического метода воздействия на наиболее прочный камень—гранит, целесообразно рассмотреть этот метод и его влияние на развитие добычи и обработки гранита в республи-ке отдельно, как и вопросы обработки гранита ультразвуком.

Итак, за весьма короткий исторический период методы разделки природного камня в республике получили широкое и разнообразное развитие.

ЛИТЕРАТУРА

- Николаенко Н. А., Вероятностные методы динамического расчета маши-ностроительных конструкций, М., 1967.
Панкратов С. С., Динамика машин для открытых горных и земляных работ, М., 1967.
Эшги С. Тепловые явления при абразивной отрезке. «Конструирование и технология машиностроения», № 2, 1967.
Динамические исследования твердых тел при высоких давлениях, Сборник, М., 1965.

Մ. Վ. ԿԱՍՅԱՆ

ԲՆԱԿԱՆ ՔԱՐԻ ՀԱՆՈՒՅԹԻ ՈՒ ՄՇԱԿՄԱՆ ԶԱՐԳԱՑՈՒՄԸ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Հոդվածում համառոտակի շարադրված են Հայաստանի բնա-կան քարերի առանձնահատկությունները՝ նրանց ֆիզիկամեխա-նիկական, տեխնոլոգիական և դեկորատիվ հատկությունները տե-

սանկյունից: Ըստ որում, եթեկես է հանդիսանում այն դրույթը, որ հնագույն ժամանակներից մինչև մեր օրերն են հասել քարե հույակապ հուշարձաններ (այդ թվում և շատ կարծր ապարներից), որոնք զարմանք են պատճառում իրենց հիասքանչությանը, երկարակեցությանը և քարի մշակման մեթոդներով: Այդ առումով էլ քարի հանույթի ու մշակման մեթոդների զարգացումը դիտվում է պատմականորեն:

Մեծ ուշադրություն է դարձված քարի ուղղորդված կոտրման մեթոդներին՝ կախված քարի բնույթից, նրա վրա տարբեր եղանակներով ներգործելով: Քանի որ հրաբխային ծագման քարերը ոչ միայն հիանալի շինանյութ են, այլև կարող են հումք հանդիսանալ արդյունաբերության տարբեր բնագավառների համար, ապա պատմական վերլուծություն կատարելիս, դիտված են քարի այդպիսի մշակման եղանակների ողջ զինանոցի օգտագործման ուղիները՝ սկսած կարծր միահալվածքներով ամրանավորված (հիմնականում միատկարադիրով և արհեստական ու բնական արմաստով) մետաղական գործիքով մեխանիկորեն ներգործելուց: Դա տեղին է առավել ևս նրանով, որ հանրապետությունում կազմակերպված է արհեստական արմաստի կորունդի արտադրություն, որի մնացուկները հեռանկարային են դիտվող նպատակների համար:

Դիտվող տեխնոլոգիական պրոցեսներում ուշադրություն է դարձված լիմիտավորող գլխավոր գործոնների վրա: Արմաստով մշակելիս լիմիտավորող գործոն է հանդիսանում արմաստի սկավառակ-քար կոնտակտի մակերևութում առաջացող սահմանափակ ջերմաստիճանը: Այդ իսկ պատճառով, հոդվածում բերված են այն հիմնական հավասարումները, որոնք ջերմային լարման մեծությունը կապում են կտրման ռեժիմների հետ: Միակարգի դիրքի վարձի միահալվածքով ամրանավորված սկավառակներ օգտագործելիս, արագությունների դաշտի որոշակի գոտում առաջանում է թրթռում, որի հաճախականությունը մոտենում է քար կտրող մեքենայի առանձին հանգուցների սեփական տատանումների հաճախականությունները: Հետևաբար, պետք է բացառվի մեքենայի աշխատանքը այդպիսի ռեժիմային դաշտում, որին բնորոշ է մեքենայի անիվների սայթաքում՝ ռելսերի վրա:

Հատուկ հետաքրքրություն է ներկայացնում քվանտային օպտիկական ճառագայթի, զազադինամիկական շիթի, ցածրաջերմաստիճանային պլազմայի օգտագործումը՝ քարի ուղղորդված մշակման համար: