

Код МРНТИ 55.33.35

*А.З. Букаева¹, В.В. Поветкин²¹Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова (г. Актау, Казахстан),²Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ГАЗОВОЙ СТРУИ ТЕРМОИНСТРУМЕНТА ПРИ ДОБЫЧЕ ГРАНИТНЫХ БЛОКОВ

Аннотация. В статье рассматривается исследование теплового воздействия высокоскоростного и высокотемпературного газового потока, создаваемого горелкой, на обрабатываемую поверхность горной породы. Анализируются условия, при которых поток направляется под разными углами, что влияет на характер хрупкого разрушения материала и структуру поврежденного слоя. Также определены ключевые параметры взаимодействия струи с породой: распределение удельных тепловых потоков в зоне торможения, глубина и объем разрушения, а также скорость перемещения струи относительно поверхности. Полученные результаты обеспечивают более точное понимание механизмов теплового разрушения, что позволяет оптимизировать параметры резки, выбрать рациональные режимы работы и повысить эффективность обработки гранитных и других горных пород в различных технологических условиях.

Ключевые слова: термоинструмент, огнеструйное разрушение, горная порода, тепловой поток, термическая обработка.

Гранит блоктарын өндіру кезінде термо құралдың жоғары жылдамдықты газ ағынының әсерін зерттеу

Андатпа. Мақалада термо құрылғы тудыратын жоғары жылдамдықты және жоғары температуралы газ ағынының тау жынысының өңделетін бетіне жылу әсерін зерттеу қарастырылады. Ағын әртүрлі бұрыштармен бағыттталатын жағдайлар талданады, бұл материалдың морт бұзылу сипатына және зақымданған қабаттың құрылымына әсер етеді. Сондай-ақ ағынның жыныспен өзара іс-қимылының негізгі параметрлері анықталды: тежеу аймағындағы меншікті жылу ағындарының бөлінуі, қирау тереңдігі мен көлемі, сондай-ақ ағынның жер бетіне қатысты қозғалу жылдамдығы. Алынған нәтижелер жылу бұзылуының тетіктерін неғұрлым нақты түсінуді қамтамасыз етеді, бұл кесу параметрлерін онтайландыруға, жұмыстың ұтымды режимдерін таңдауға және әртүрлі технологиялық жағдайларда гранит және басқа да тау жыныстарын өңдеу тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: жылу құралы, өрт сөндіру, тау жынысы, жылу ағыны, термиялық өңдеу.

Study of the impact of high-speed gas jet thermo-tool at extraction of granite blocks

Abstract. The article deals with the study of thermal effect of high-speed and high-temperature gas flow created by a torch on the treated rock surface. The conditions under which the flow is directed at different angles, which affects the nature of brittle fracture of the material and the structure of the damaged layer, are analyzed. Key parameters of jet-rock interaction are also determined: distribution of specific heat fluxes in the braking zone, depth and volume of fracture, as well as the speed of jet movement relative to the surface. The obtained results provide a more accurate understanding of the mechanisms of thermal fracture, which allows to optimize cutting parameters, select rational modes of operation and increase the efficiency of processing granite and other rocks in different technological conditions.

Key words: thermal tool, fire-jet destruction, rock, heat flow, heat treatment.

Введение

Современные технологии обработки горных пород требуют повышения эффективности и производительности термического разрушения.

Одним из перспективных методов является применение высокоскоростного и высокотемпературного газового потока, создаваемого горелкой, воздействующей на обрабатываемую поверхность под различными углами.

Такой подход позволяет не только ускорить процесс резки и разрушения породы, но и оптимизировать тепловую нагрузку, снижая потери энергии и износ оборудования. В работе рассматривается теоретическая модель теплового воздействия в условиях, приближенных к реальным, учитывающая распределение температур, напряжений и теплофизические свойства материала. Особое внимание уделяется определению эффективной зоны нагрева, объемной производительности и параметрам, влияющим на глубину и скорость разрушения. Полученные зависимости и расчеты позволяют формировать практические рекомендации по выбору режима работы термоинструментов и проектированию установок для термической резки твердых горных пород [1].

Материалы и методы

Для решения задачи о тепловом воздействии газовых потоков горелок, протекающих под некоторым углом обрабатываемой плоскости, в случае резки горной породы составим теоретическую модель процесса обработки как в случае воздействия кругового источника тепла.

На рис. 1 представлена модель взаимодействия высокоскоростного газового потока с обрабатываемой плоскостью породы, имитирующая тепловое воздействие кругового источника. Указан угол наклона струи к поверхности, зона теплового проникновения и глубина прогрева, определяющая форму и размеры области разрушения.

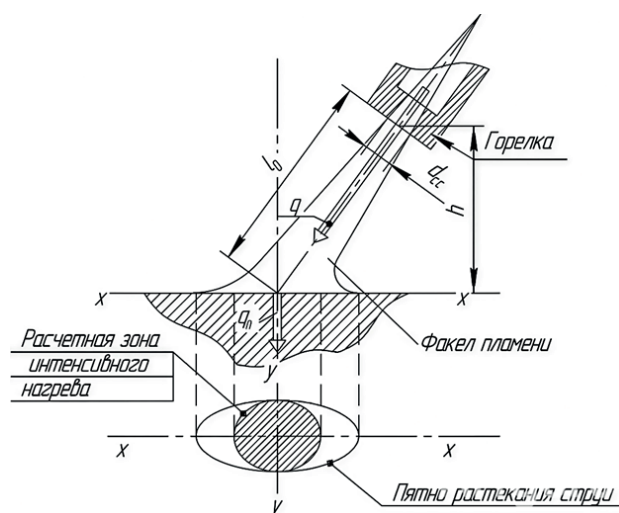


Рис. 1. Взаимодействие газовой струи с горной породой.

Сурет 1. Газ ағынының тау жыныспен өзара әрекеттесуі.

Figure 1. Interaction of a gas jet with a rock.

Модель разрушаемого слоя представляет полосу толщиной, определяемой глубиной проникновения тепла z в рассматриваемый момент основания, а по боковой поверхности – связью, не допускающей горизонтальных смещений контура (рис. 2).

На рисунке показаны варианты постановки задачи для теоретического анализа термического напряженного состояния разрушенного слоя породы: 1) полоса, заделанная по основанию; 2) полоса с боковыми условиями, не допускающими горизонтальных смещений; 3) полоса, нагруженная по боковой поверхности гармонической нагрузкой. Данная модель полосы прогретого слоя горной породы учитывает толщину слоя, равную глубине теплового проникновения z , и применяется для построения напряженно-деформированного состояния при тепловом воздействии.

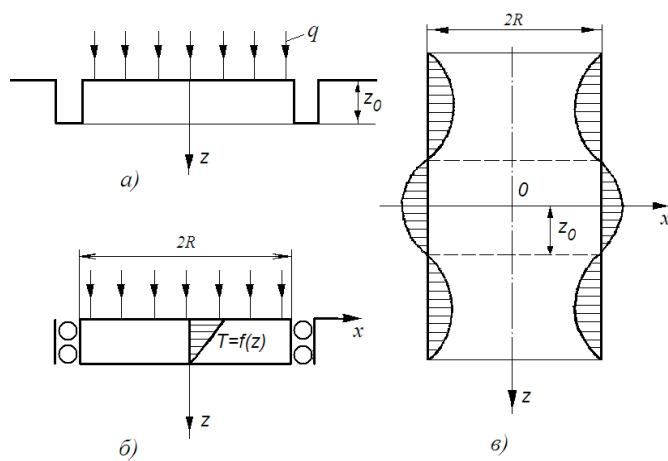


Рис. 2. Модели полосы для расчета полей термических напряжений

а) заделанной по основанию; б) с заделкой, не допускающей горизонтального смещения контура; в) нагруженной по боковой поверхности гармонической нагрузкой.

Сурет 2. Термиялық кернеу өрістерін есептеуге арналған жолақ модельдері

а) негіз бойынша тығыздалған; б) контурдың көлденең сысуына жол бермейтін тығыздалған; в) бүйір беті бойынша жүктелген гармоникалық жүктеме.

Figure 2. Models of the strip for calculating thermal stress fields

a) sealed at the base; b) with a seal that does not allow horizontal displacement of the contour; c) loaded along the lateral surface with a harmonic load.

Рассмотрим задачу со следующими условиями. Полоса бесконечной длины, толщиной z_0 и шириной $2R$, жестко заделанная по основанию со стороны $z = 0$, а по боковой поверхности – связью, не допускающей горизонтальных смещений, нагревается максимальным тепловым потоком q_{max} горелки, работающей при движении газовой струи. Распределение температур в пластине подчиняется зависимости [2]:

$$T(z) = -T_s(1 + zH) + T_r zH, \quad (1)$$

где T_s – температура поверхности нагрева, К;

$H = \alpha_q/\lambda$ – относительный коэффициент теплообмена, 1/м; α_q – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К);

T_r – температура газа у нагреваемой поверхности, К.

Модуль упругости E , коэффициент теплового расширения α и коэффициент Пуассона μ приняты независимыми от температуры. Данные формулы позволяют найти поля термических напряжений по глубине прогретого слоя. Задача решается методом суперпозиции, т. е. отдельно находятся поля термических напряжений в полосе, защемленной по основанию, и в полосе с заделкой, не допускающей горизонтальных смещений контура.

Поставленная задача находится из алгебраического сложения полученных двух решений. Первое решение задачи об отыскании полей термических напряжений в полосе, защемленной по основанию и свободной от нагрузки по боковой поверхности, осуществляется использованием метода, примененного в работе [2] для отыскания полей деформации в круглой плите, жестко заделанной по основанию.

Деформированное состояние плиты выразится следующими смещениями и относительными деформациями:

$$u_x = 0; \quad w_z = \frac{1 - \mu}{1 + \mu} \alpha \cdot \int f(z) dz; \quad (2)$$

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} = 0; \quad \varepsilon_z = \frac{1 - \mu}{1 + \mu} \alpha \cdot f(z);$$

$$\gamma_{xz} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z}. \quad (3)$$

Деформированное состояние полосы, выражаемое зависимостями (3), удовлетворяет уравнению совместности деформаций Сен-Венана. В полосе будут действовать напряжения.

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= -\frac{\alpha E f(z)}{1 - \mu} \\ \sigma_z &= \tau_{xz} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Напряжения, выражаемые зависимостями (4), являются точным решением для полосы, заделанной по контуру так, как указано на рисунке при любом распределении температуры $T = f(z)$.

Результаты исследования

Для решения задачи о полосе, жестко защемленной по основанию, используем модель полосы бесконечной толщины ($z = \infty$), нагруженной по боковой поверхности нагрузкой, распределенной по гармоническому закону. В результате в полосе возникают напряжения, обусловленные тепловым воздействием и граничными условиями.

В полосе будут действовать напряжения:

$$\sigma_x = -\frac{\alpha E T \cos k z}{1 - \mu}, \quad (5)$$

где $k = \frac{n\pi}{2z_0}$;

z_0 – длина четверти волны косинусоиды; $n = 1, 3, 5, 7$ и т. д.

Очевидно, справедливо равенство:

$$f(z) = T \cos kz. \quad (6)$$

При принятом законе нагружения функция напряжений может быть принята в виде:

$$\varphi = \cos kz [A_n \operatorname{ch}(kx) + B_n kx \operatorname{sh}(kx)], \quad (7)$$

где A_n, B_n – постоянные, определяемые из граничных условий.

Напряжения через функцию напряжений выразятся:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = -k^2 \cos kz [A_n \operatorname{ch}(kx) + B_n kx \operatorname{sh}(kx)] \\ \sigma_z &= \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = k^2 \cos kz \{A_n \operatorname{ch}(kx) + B_n [2\operatorname{ch}(kx) + kx \operatorname{sh}(kx)]\} \\ \tau_{xz} &= \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial z} = -k^2 \sin kz \{A_n \operatorname{sh}(kx) + B_n [\operatorname{sh}(kx) + kx \operatorname{ch}(kx)]\} \end{aligned} \right\}. \quad (8)$$

На боковой поверхности должны быть выполнены условия:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{x/x=R} &= -\frac{\alpha ET \cos kz}{1 - \mu} \\ \tau_{xz/x=R} &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (9)$$

Подставляя в эти уравнения напряжения из (9), получим значения постоянных A_n и B_n :

$$\left. \begin{aligned} B_n &= \frac{-\operatorname{sh}(kR) - \alpha ET}{kR + \operatorname{ch}(kR) \operatorname{sh}(kR) k^2 (1 - \mu)}; \\ A_n &= \frac{kR \operatorname{ch}(kR) + \operatorname{sh}(kR) - \alpha ET}{kR + \operatorname{ch}(kR) \operatorname{sh}(kR) k^2 (1 - \mu)}. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

При больших значениях kR : $\operatorname{sh}(kR) \approx \operatorname{ch}(kR) = \frac{1}{2} e^{kR}$.

Тогда приближенно:

$$\left. \begin{aligned} B_n &\approx -\frac{e^{kR}}{2[kR + e^{2kR}/4]} \frac{\alpha ET}{k^2 (1 - \mu)}; \\ B_n &= -\frac{2e^{kR}}{4kR + e^{2kR}} \frac{\alpha ET}{k^2 (1 - \mu)} = b_n \frac{\alpha ET}{k^2 (1 - \mu)}; \\ A_n &\approx \frac{kR e^{2kR}/2 + e^{2kR}/2}{kR + e^{2kR}/4} \frac{\alpha ET}{k^2 (1 - \mu)}; \\ A_n &= \frac{2e^{kR}(kR + 1)}{4kR + e^{2kR}} \frac{\alpha ET}{k^2 (1 - \mu)} = a_n \frac{\alpha ET}{k^2 (1 - \mu)}. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Сечение $z = 0$ (рис. 2 а) является плоскостью прямой симметрии нагрузки, и в нем отсутствуют смещения в на-

правлении оси z . Это сечение остается плоским, т. е. в нем должно выполняться условие $\tau_{xz} = 0$; $\sigma_z = 0$. Для перехода к задаче о полосе, защемленной по основанию, к сечению $z = 0$ и основанию прикладываются противоположно направленные напряжения σ_x , т. е. последние переносятся в основание. Таким образом, с учетом указанного и (6), поля термических напряжений в полосе окончательно выразятся [3]:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= [a_n \operatorname{ch}(kx) - b_n kx \operatorname{sh}(kx)] \frac{E \alpha T \cos kz}{1 - \mu} \\ \sigma_z &= [a_n \operatorname{ch}(kx) - b_n kx + kx \operatorname{sh}(kx)] \frac{E \alpha T \cos kz}{1 - \mu} \\ \tau_{xz} &= -\{a_n \operatorname{sh}(kx) - b_n [\operatorname{sh}(kx) + kx \operatorname{ch}(kx)]\} \frac{E \alpha T \sin kz}{1 - \mu} \end{aligned} \right\}. \quad (12)$$

Второе решение задачи о полосе, не допускающей горизонтальных смещений контура (рис. 2 б), известно и изложено в [4]. Поля термических напряжений в данном случае выразятся:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= -\frac{E \alpha T \cos kz}{1 - \mu} \\ \sigma_z &= 0 \\ \tau_{xz} &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (13)$$

Алгебраически складывая решения (12) и (13), получим зависимости для полей термических напряжений в полосе, защемленной по основанию и заделанной по боковой поверхности, не допускающей горизонтальных смещений контура:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= [a_n \operatorname{ch}(kx) - b_n kx \operatorname{sh}(kx) - 1] \frac{E \alpha T \cos kz}{1 - \mu} \\ \sigma_z &= [a_n \operatorname{ch}(kx) - b_n [2\operatorname{ch}(kx) - kx \operatorname{sh}(kx)]] \frac{E \alpha T (1 - \cos kz)}{1 - \mu} \\ \tau_{xz} &= -\{a_n \operatorname{sh}(kx) - b_n [\operatorname{sh}(kx) - kx \operatorname{ch}(kx)]\} \frac{E \alpha T \sin kz}{1 - \mu} \end{aligned} \right\}. \quad (14)$$

Зависимости (14) справедливы при гармоническом изменении температуры по толщине полосы. В нашем случае распределение температуры линейное. Однако с удовлетворительной точностью можно заменить линейное распределение температуры гармоническим, тем более, как будет указано в дальнейшем, наиболее опасным для прочности полосы будут напряжения в ее основании, где температура равна нулю.

Оценку напряженного состояния указанной области основания проводим по критерию П.П. Баландина [5], получившего экспериментальное подтверждение при изучении прочности хрупких материалов. Для плоского напряженного состояния критерий имеет вид:

$$\sigma_z^2 + 3\tau_{xz}^2 + (\sigma^p + \sigma^c)\sigma_z = \sigma^p\sigma^c, \quad (15)$$

где σ^p и σ^c – пределы прочности породы на сжатие и растяжение.

Подставляя в (15) величины σ_z и τ_{xz} , действующих в наиболее опасной области основания, и приняв $\sigma^c = 20\sigma^p$, получим следующие условия разрушения прогретого слоя:

$$0,063 \cdot \frac{E\alpha T_s}{1-\mu} \geq \sigma^p, \quad (16)$$

где T_s – температура поверхности нагрева породы в момент отделения прогретого слоя, К.

В работах [6, 7] получен критерий при воздействии на породу полосового источника тепла, приближенно принятого для случая воздействия одной горелки. При этом в струе горелки выделялась эффективная зона нагрева с минимальным снижением теплового потока. Эта эффективная длина теплового потока в струе находится в пределах 0,15...0,2 м при общей длине струи 0,35...0,4 м.

При перемещении полосы нагрева шириной $2R$ вдоль породы с постоянной скоростью v_{np} каждая точка расчетной зоны будет находиться под действием факела, время $t_{ст}$, при этом отделяется слой толщиной z (рис. 1).

На активной части длины струи L , в которой происходит эффективное разрушение, объемная производительность будет:

$$\Pi_p = 2RL \frac{z}{t_{ст}}, \quad \text{м}^3/\text{с}. \quad (17)$$

Эффективная зона нагрева породы линейным источником тепла определяется следующим образом. Под действием струи газов высокой температуры и скорости возникает тепловой поток q , распределение которого с достаточной точностью подчиняется закону Гаусса [8, 9] (рис. 3).

$$q = q_{max} \exp(-kr^2), \quad \text{Вт}/\text{м}^2, \quad (18)$$

где q_{max} – максимальный тепловой поток источника тепла, Вт/м²;

r – текущий радиус, м;

k – коэффициент сосредоточенности теплового потока, 1/м².

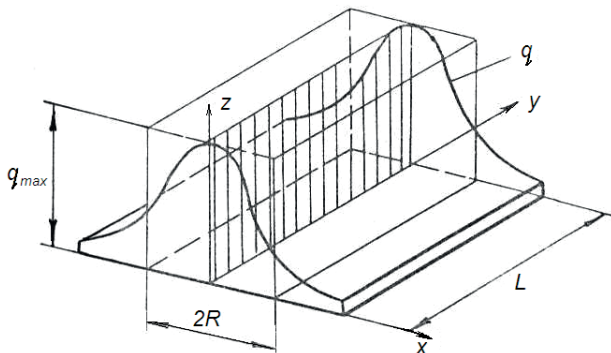


Рис. 3. Модель полосового источника тепла.

Сурет 3. Жолақты жылу көзі моделі.

Figure 3. The model of the strip heat source.

Из опыта огнеструйного разрушения известно, что материалы интенсивно разрушаются в области эффективного нагрева, за пределами которого производительность разрушения резко снижается до полного прекращения. Обозначим радиус этой зоны R . Заменим распределение теплового потока в пятне эффективного нагрева равномерным в пределах области $|0 \leq r \leq R|$ и равным g_{max} [10]. Приравнявая количество тепла при действительном и принятом распределении теплового потока, получим:

$$\begin{aligned} L2R q_{max} &= \int_{-\infty}^{+\infty} q_{max} \exp(-kr^2) dr L = \\ &= \frac{1,77}{\sqrt{k}} q_{max} L, \end{aligned} \quad (19)$$

откуда находим радиус пятна эффективного нагрева:

$$R = \frac{\sqrt{\pi}}{4\sqrt{k}} \quad (20)$$

Зависимость (20) при ширине нагрева $2R$ для одной горелки показана на рисунке 4. Из графика следует, что с увеличением коэффициента сосредоточенности теплового потока k радиусу пятна эффективного нагрева R убывает. С увеличением коэффициента сосредоточенности теплового потока более 3, радиус пятна снижается незначительно. Поскольку при $k > 3$ тепловой поток уже максимально сосредоточен в центральной зоне, дальнейшее его увеличение практически не влияет на радиус пятна из-за насыщения распределения прогретого слоя, то есть температуры.

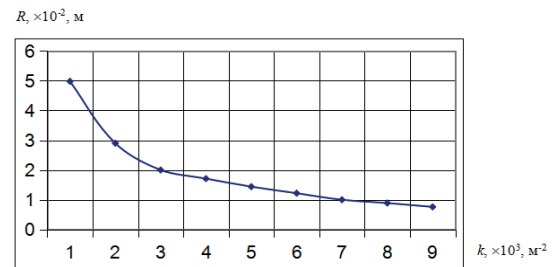


Рис. 4. Зависимость радиуса пятна эффективного нагрева от коэффициента сосредоточенности удельного теплового потока.

Сурет 4. Тімді қыздыру нүктесінің радиусының меншікті жылу ағынының шоғырлану коэффициентіне тәуелділігі.

Figure 4. Dependence of the radius of the effective heating spot on the specific heat flux concentration factor.

Определяем линейную скорость огнеструйного разрушения:

$$v_{лин} = c \cdot q_{max}, \quad (21)$$

где c – тангенс угла наклона кривой $v_{лин} = f(q)$.

С учетом этих выражений (22) объемная производительность разрушения горной породы примет вид:

$$W = c \cdot q_{max} \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{k}} \cdot L \quad (22)$$

Анализ показывает, что объемная производительность зависит от произведения трех величин: c , $q_{max} \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{k}}$ и L – длины полосы нагрева. По своему физическому смыслу величина c характеризует объем разрушенной зоны, приходящейся на единицу вложенной энергии, т. е. удельный объем разрушения, и зависит от теплофизических свойств породы.

Отношение $q_{max} \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{k}}$ характеризует плотность теплового потока в породе и его распределение в пятне нагрева, т. е. тепловую мощность термоинструмента. Из уравнения следует, что проектировать термоинструменты следует с обеспечением максимальной передачи тепла в нагреваемую поверхность.

Исходя из положения, что при движении пятна эффективного нагрева полосового источника шириной $2R$ каждая точка должна находиться в этой области время $t_{сл}$, определим требуемую скорость продольного перемещения:

$$v_{пр} = \frac{2R}{t_{сл}} \text{ или } v_{пр} = q_{max} \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{k}} c z^{-1}, \text{ м/с.} \quad (23)$$

Зависимость (23) показывает, что с увеличением удельного теплового потока и уменьшением сосредоточенности струи, при снятии слоя породы данной толщины, необходимо увеличивать скорость перемещения полосового источника тепла относительно породы. Решение этой задачи позволяет установить пределы, хрупкое разрушение материала в зависимости от сосредоточенности и теплового потока в прогревом слое.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Pivnyak G., Bondarenko V., Kovalevska I. Новые разработки в горном машиностроении. Теоретические и практические решения по минеральным ресурсам. Книга майнинга: Пресса CRC, 2015. 616 с. (на английском языке)
2. Triong Dang Quang MSc. Текущая ситуация с добычей камня для строительных материалов в провинции Гуанг // Американский журнал инженерных исследований. 2022. Т. 11 (06). С. 80–85 (на английском языке)
3. De Silva R.V., Pathegama Gamage R., Anne Perera M.S. Альтернатива традиционным методам дробления пород с использованием SCDA: обзор // Энергия. 2016. Т. 9 (11). С. 958 (на английском языке)
4. Поветкин В.В. Огнеструйная обработка гранитных блоков: Алматы, 2001. 145 с. (на русском языке)
5. Поветкин В.В., Букаева А.З., Хандожко А.В. Использование бензовоздушных горелок для добычи и обработки блочного камня // Научно-технические технологии в машиностроении. 2017. № 12. С. 8–14 (на русском языке)
6. Поветкин В.В., Букаева А.З. Методика расчета основных параметров горелки термоинструмента // Инженер. 2018. № 1 (25). С. 86–88 (на русском языке)
7. Совершенствование огнеструйного способа резки горных пород при добыче блочного камня из гранитов / Поветкин В.В. [и др.] // Поиск. 2017. № 1 (1). С. 176–182 (на русском языке)
8. Изучение термических камнерезных инструментов / Nurutov Ye. [и др.] // Journal of Vibroengineering Procedia. 2016. Т. 8. С. 22–27 (на английском языке)
9. Инструменты для высокоскоростного термического напыления, используемые в технологических процессах и производствах / Bukayeva A. [и др.] // Journal of Vibroengineering Procedia. 2016. Т. 10. С. 474–479 (на английском языке)

Обсуждение

В результате проведенного теоретического исследования рассмотрены основные закономерности теплового взаимодействия высокоскоростного газового потока горелки с поверхностью горной породы. Построена математическая модель, описывающая распределение температур и напряжений в зоне воздействия тепла, учтены особенности геометрии источника и параметры газовой струи. Выявлены условия, при которых происходит хрупкое разрушение материала, а также определены зависимости для расчета эффективной длины зоны нагрева, скорости разрушения и объемной производительности процесса. Полученные результаты имеют практическую значимость для проектирования термоинструментов и разработки режимов термической резки твердых пород, обеспечивая повышение эффективности и точности обработки.

Заключение

В ходе исследования установлены параметры взаимодействия газовой струи с горной породой, обеспечивающие хрупкий характер разрушения породы. Это позволило определить распределение удельных тепловых потоков в зоне пятна торможения газовой струи.

Найдена объемная скорость разрушения породы, что позволяет количественно оценить эффективность в процессе разрушения.

На основе анализа механизма разрушения определены параметры скорости процесса, что способствует более точному прогнозированию динамики разрушения породы при воздействии газовой струи.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета Науки Министерства науки и высшего образования РК (грант № AP25796181).

10. Поветкин В.В., Керимжанова М.Ф., Букаева А.З. Применение сверхзвуковых термоинструментов при ремонте трубопроводов // Сб. трудов XXIII международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века», Донецк: МСМ, 2016. Т. 2. С. 84–89 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Pivnyak G., Bondarenko V., Kovalevska I. Тау-кен машиналарын жасаудағы жаңа әзірлемелер. Минералдық ресурстар бойынша теориялық және практикалық шешімдер. Майнинг кітабы: CRC пресса, 2015. 616 б. (ағылшын тілінде)
2. Truong Dang Quang MSc. Гуанг провинциясында құрылыс материалдары үшін тас өндірудің ағымдағы жағдайы // Американдық инженерлік зерттеулер журналы. 2022. Т. 11 (06). Б. 80–85 (ағылшын тілінде)
3. De Silva R.V., Pathegama Gamage R., Anne Perera M.S. SCDA пайдалану арқылы жыныстарды ұсақтаудың дәстүрлі әдістеріне балама: шолу // Энергия. 2016. Т. 9 (11). Б. 958. (ағылшын тілінде)
4. Поветкин В.В. Гранит блоктарын отты ағыспен өңдеу: Алматы, 2001. 145 б. (орыс тілінде)
5. Поветкин В.В., Букаева А.З., Хандожко А.В. Блокты тасты өндіру және өңдеу үшін жанармай-ауа оттықтарын пайдалану // Машина жасаудағы ғылымды қажет ететін технологиялар. 2017. № 12. Б. 8–14 (орыс тілінде)
6. Поветкин В.В., Букаева А.З. Термоқұрал жанарғысының негізгі параметрлерін есептеу әдістемесі // Инженер. 2018. № 1 (25). Б. 86–88 (орыс тілінде)
7. Граниттен блокты тасты өндіру кезінде тау жыныстарын кесудің отты жару тәсілін жетілдіру / Поветкин В.В. [және т. б.] // Издеу. 2017. № 1 (1). Б. 176–182 (орыс тілінде)
8. Термиялық тас кесетін құралдарды зерттеу / Нуритов Ye. [және т. б.] // Journal Of Vibroengineering Procedia. 2016. Т. 8. Б. 22–27 (ағылшын тілінде)
9. Технологиялық процестер мен өндірістерде қолданылатын жоғары жылдамдықты термиялық бұрқу құралдары / Букаева А. [және т. б.] // Journal of Vibroengineering Procedia. 2016. Т. 10. Б. 474–479 (ағылшын тілінде)
10. Поветкин В.В., Керимжанова М.Ф., Букаева А.З. Құбырларды жөндеу кезінде дыбыстан жоғары термоқаптарды қолдану // «XXI ғасырдағы Машина жасау және техносфера» XXIII халықаралық ғылыми-техникалық конференциясының еңбектер жинағы, Донецк: МСМ, 2016. Т. 2. Б. 84–89 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Pivnyak G., Bondarenko V., Kovalevska I. New Developments in Mining Engineering 2015. Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources. Mining Book: CRC Press, 2015. 616 p. (in English)
2. Truong Dang Quang MSc. Current Situation of Stone Mining for Construction Materials in an Giang Province // American Journal of Engineering Research. 2022. V. 11 (06). 80–85 pp. (in English)
3. De Silva R.V., Pathegama Gamage R., Anne Perera M.S. An alternative to conventional rock fragmentation methods using SCDA: a review // Energies. V. 9 (11). 958 p. (in English)
4. Povetkin V.V. Ognestrujnaja obrabotka granitnyh blokov [Flame cutting of granite blocks]. Almaty, 2001. 145 p. (in Russian)
5. Povetkin V.V., Bukayeva A.Z., Handozhko A.V. Ispol'zovanie benzovozdushnyh gorelok dlja dobychi i obrabotki blochnogo kamnja [Using air-fueled burners for mining and processing block stone], Naukojtomkie tehnologii v mashinostroenii [Science-intensive technologies in mechanical engineering]. 2017. No. 12. 8–14 pp. (in Russian)
6. Povetkin V.V., Bukayeva A.Z. Metodika rascheta osnovnyh parametrov gorelki termoinstrumenta [The method of calculating the main parameters of the thermal tool burner], Inzhener [Engineer]. 2018. No. 1 (25). 86–88 pp. (in Russian)
7. Sovershenstvovanie ognestrujnogo sposoba rezki gornyx porod pri dobyche blochnogo kamnya iz granitov [Improvement of the flame-jet method of rock cutting during the extraction of block stone from granites], Povetkin V.V. [et al.], Poisk [Search]. 2017. No. 1 (1). 176–182 pp. (in Russian)
8. Study of thermal stonecutting tools / Nurymov Ye. [et al.] // Journal of Vibroengineering Procedia. 2016. V. 8. 22–27 pp. (in English)
9. High velocity thermal spraying tools used in technological processes and productions / Bukayeva A. [et al.] // Journal of Vibroengineering Procedia. 2016. V. 10. 474–479 pp. (in English)
10. Povetkin V.V., Kerimzhanova M.F., Bukayeva A.Z. Primenenie sverkhzvukovykh termoinstrumentov pri remonte truboprovodov [Use of supersonic thermal tools in pipeline repair], Sbornik trudov XXIII mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Mashinostroenie i tekhnosfera XXI veka» [Proceedings of the XXIII International Scientific and Technical Conference «Mechanical Engineering and Technosphere of the 21st Century»]. Donetsk: MCM, 2016. V. 2. 84–89 pp. (in Russian)

Сведения об авторах:

Букаева А.З., доктор Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Машиностроение и транспорт», Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова (г. Актау, Казахстан), amina_bukaeva@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0956-1552>

Поветкин В.В., д.т.н., профессор кафедры «Машиностроение», Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), vv1940_povetkin@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3872-3488>

Авторлар туралы мәліметтер:

Букаева А.З., «Машина жасау және көлік» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, доктор Ph.D, Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті (Актау қ., Қазақстан)

Поветкин В.В., «Машина жасау» кафедрасының т.ғ.д., профессоры, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Bukaeva A.Z., Ph.D, associate professor, department of Mechanical engineering and transport, Caspian university of technology and engineering named after Sh. Yessenov (Aktau, Kazakhstan)

Povetkin V.V., doctor of technical sciences, professor, department of Mechanical engineering, Kazakh national technical university named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)



МАСГНБ
ОБЪЕДИНЕНИЕ ПРОФЕССИОНАЛОВ
БЕСТРАНШЕЙНОГО ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА
25 ЛЕТ

14-16 АПРЕЛЯ
2026 ГОДА

ГОРОД КАЗАНЬ

25-АЯ ЮБИЛЕЙНАЯ
ЕЖЕГОДНАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ МАС ГНБ

главное событие 2026 года в области
бестраншейного строительства
подземных коммуникаций
на постсоветском пространстве