

СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Р. В. АКОПОВ

ДИНАМИКА ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ КАМНЯ В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ ГЕОМЕТРИИ ИНСТРУМЕНТА

В строительной практике Армянской ССР широко используются различные естественные каменные материалы: вулканические туфы, фельзитовые туфы, базальты и т. д. Для соответствующего формоизменения строительных камней, как в условиях строительства, так и непосредственно на карьерах, существует множество станков и механизмов различной конструкции. Все они работают в основном по принципу резания камня торцевым и вальцевым фрезерованием или по принципу распиловки дисковыми и кольцевыми фрезами.

В целях получения необходимых расчетных данных для проектирования новых камнеобрабатывающих и камнедобывающих станков, а также для их эффективной эксплуатации в производственных условиях, в Институте стройматериалов и сооружений Академии наук Армянской ССР в течении ряда лет проводились исследования по различным вопросам резания камня. К числу важнейших из них относятся исследования усилия в зависимости от режимов резания (1, 2, 3, 4), физической сущности процесса резания и износа инструмента (5, 6, 7), формы резания (8), различных принципов воздействия режущего инструмента на процесс обработки камня (9, 10) и др.

Одним из решающих факторов при резании камня является геометрия режущего инструмента, в зависимости от которой определенным образом меняются основные показатели процесса резания. В частности, геометрия режущего инструмента помимо прочего, существенным образом влияет на показатели динамики процесса резания камня.

О влиянии геометрии инструмента на динамику процесса резания хорошо известно из многочисленных исследований, проведенных при резании металлов, грунтов, углей и естественных камней. Несмотря на значительное количество экспериментов, проведенных при обработке различных материалов, к настоящему времени отсутствуют какие-нибудь теоретические обобщения по данному вопросу. Различная степень влияния отдельных элементов геометрии инструмента в зависимости от свойства обрабатываемого материала, а также необходимость установления опытным путем некоторых констант побудила нас провести специальные исследования по определению влияния геом-

метрии инструмента при обработке интересующих нас пород строительного камня.

В настоящей статье приводим результаты исследований, проведенных при торцевом фрезеровании туфа ереванского типа с пределом прочности на сжатие $\sigma = 220 \text{ кг/см}^2$, фельзитового туфа с $\sigma = 140 \text{ кг/см}^2$ и базальта с $\sigma = 1320 \text{ кг/см}^2$. Изучение влияния геометрии инструмента проводилось при остром режущем инструменте. Армированный твердым сплавом ВК8 режущий инструмент после получения одной-двух опытных точек перетачивался в соответствии с заданной геометрией. Изучение велось путем замера мощности резания с учетом потерь станка на холостой ход и нагрузочных потерь.

В качестве критерия для оценки усилия резания было принято условное удельное усилие резания, которое определялось, как отношение усилия резания P к сечению среза $t \cdot s$, где t — глубина резания, s — подача на зуб.

Скорость резания при опытах сохранялась постоянной или же менялась в весьма незначительных пределах и всегда была оптимальной для данной породы камня. Как известно, оптимальные скорости резания определены из условий наибольшей стойкости режущего инструмента специальными исследованиями (1, 2).

Согласно проведенным ранее исследованиям (1) глубина резания в определенных пределах его изменения на удельное усилие при обработке камня не влияет. Поэтому, в отдельных случаях, когда это требовалось условиями экспериментов, допускалось изменение глубины резания t в небольших пределах.

Для получения более точных результатов исследования при изучении влияния геометрии инструмента на удельное усилие p опыты по каждому элементу геометрии инструмента проводились при нескольких значениях подачи s , и сопоставление полученных данных

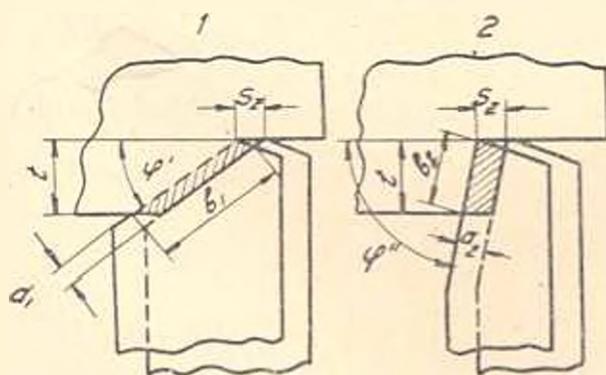
осуществлялось по установленным зависимостям $p = f(s)$, для каждого конкретного случая.

Предметом исследования при экспериментах явились основные элементы геометрии инструмента: главный угол в плане φ , передний угол γ и задний угол α .

Главным углом в плане φ называется

угол между направлением подачи и проекцией главной режущей кромки инструмента на основную плоскость.

На рис. 1 изображены инструменты с двумя различными значениями главного угла в плане φ при торцевом фрезеровании. На рис. 2

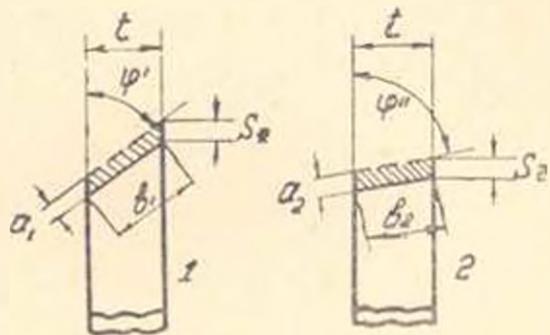


Фиг. 1.

даются режущие инструменты с различными значениями угла φ при дисковой распиловке камня.

Из приведенных рис. 1 и 2 видно, что $a = s_1 \sin \varphi$ и $b = \frac{t}{\sin \varphi}$.

Эксперименты по определению влияния главного угла в плане φ на усилие резания проводились при следующих значениях угла φ : $\varphi = 15^\circ$, $\varphi = 20^\circ$, $\varphi = 30^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, $\varphi = 60^\circ$, $\varphi = 75^\circ$ и $\varphi = 90^\circ$. Все остальные элементы геометрии сохранялись при этом, постоянными.



Фиг. 2

В таблице 1 приводят-ся опытные значения усилия резания и удельного усилия резания, полученные при обработке фельзитового туфа с изменением угла φ ; на рис. 3 и 4 и логрифмической сетке приведены опытные данные для обычного вулканического туфа и базальта.

Как видно из таблицы 1 и рис. 3 и 4 главный угол в плане φ при обработке всех трех пород камня существенно влияет на удельное усилие резания. При этом с увеличением угла φ в пределах от 15° до 90° удельное усилие уменьшается заметным образом. Кроме того необходимо отметить, что при всех значениях угла φ зависимость удельное усилие — подача на зуб имеет степенной характер и может записаться как $p = \frac{C_\varphi}{s_1^x}$ (2), где коэффициент C_φ и показатель степени для данных условий имеют определенное значение.

Из приведенных экспериментальных данных видно, что для каждой породы камня показатель степени x при всех значениях угла φ сохраняет свое значение (прямые зависимостей $p = f(s_1)$ в логарифмической сетке параллельны между собой). Для фельзитового туфа $x = 0,58$, для обычного вулканического туфа $x = 0,53$, а для базальта $x = 0,51$. Влияние главного угла в плане φ выражается изменением коэффициента C_φ . Построив зависимость коэффициентов C_φ от $\sin^y \varphi$ можно убедиться, что $C_\varphi = \frac{C}{\sin^y \varphi}$, где показатель степени y , при $\sin \varphi$ для данной породы камня по величине равен показателю степени x при s_1 , т. е. $y = x$. Таким образом, общее выражение удельного усилия резания для всех значений главного угла в плане φ можно записать, как $p = \frac{C}{(s_1 \sin \varphi)^x}$ или $p = \frac{C}{a^x}$.

Из полученной формулы видно, что удельное усилие резания находится в степенной зависимости от толщины стружки и что из-3. Изв. ТИ. № 1

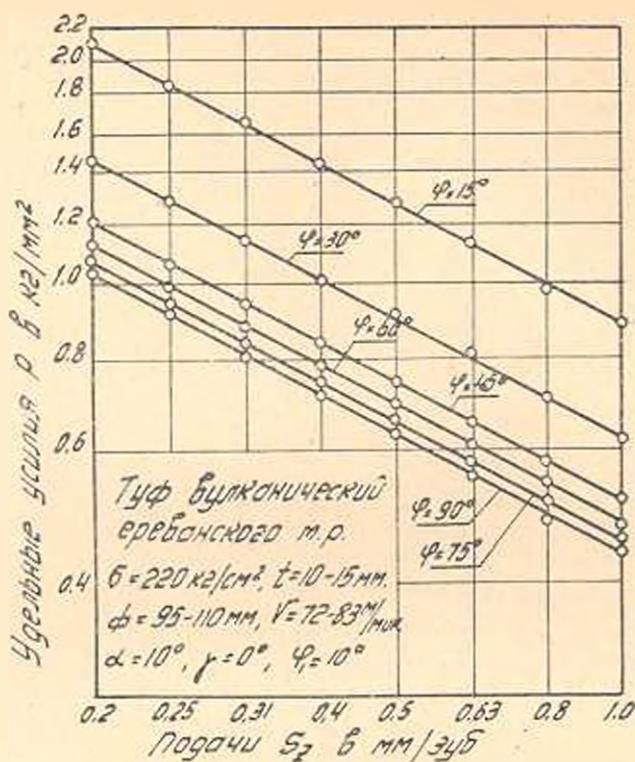


Рис. 3.

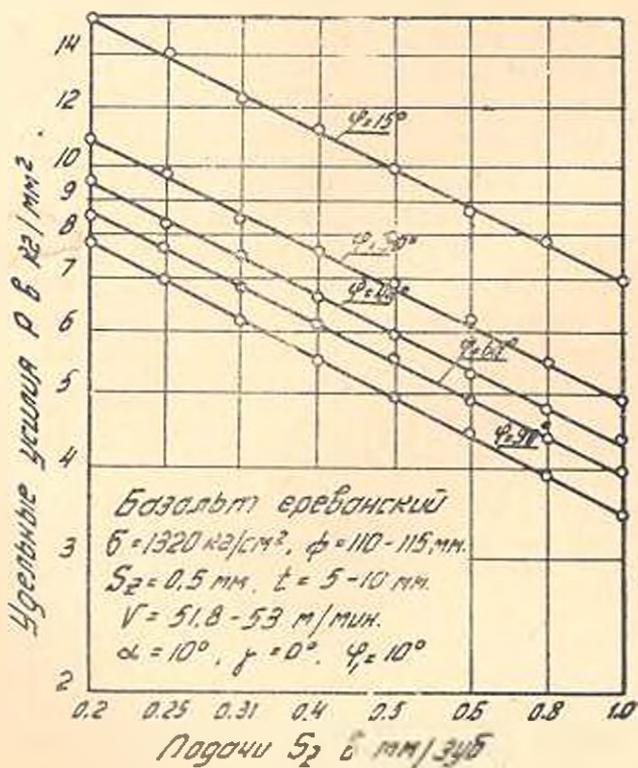


Рис. 4.

Таблица 1

Главный угол в плане φ и градусах	Подача на зуб S_z в мм	Усилие резания P в кг	Удельное усилие резания p в кг/мм ²	Постоянные экспериментов
15	0,2	3,9	3,9	$\sigma = 440 \text{ кг/см}^2$
15	0,25	4,25	3,4	$v = 69 \text{ м/мин}$
15	0,31	4,65	3,0	$l = 5 \text{ мм}$
15	0,1	5,2	2,6	$\gamma = 0^\circ \quad \alpha = 10^\circ$
15	0,5	5,8	2,32	$\varphi_1 = 10^\circ$
15	0,63	6,3	2,0	
15	0,5	7,1	1,75	
15	1,0	7,75	1,55	
20	0,2	5,45	3,4	$\sigma = 440 \text{ кг/см}^2$
20	0,25	5,9	3,95	$v = 71,5 \text{ м/мин}$
20	0,31	6,45	2,6	$l = 8 \text{ мм}, \gamma = 0^\circ$
20	0,1	7,25	2,26	$\alpha = 10^\circ, \varphi_1 = 10^\circ$
20	0,5	8,0	2,0	
20	0,63	8,85	1,75	
20	0,8	9,65	1,51	
20	1,0	10,6	1,32	
30	0,2	4,35	2,72	$\sigma = 440 \text{ кг/см}^2$
30	0,25	4,75	2,37	$v = 74 \text{ м/мин}$
30	0,31	5,18	2,09	$l = 8 \text{ мм}$
30	0,4	5,75	1,90	$\gamma = 0^\circ, \varphi_1 = 10^\circ$
30	0,5	6,3	1,59	$\alpha = 10^\circ$
30	0,63	6,95	1,39	
30	0,8	7,87	1,23	
30	1,0	8,55	1,07	
45	0,2	4,47	2,24	$\sigma = 440 \text{ кг/см}^2$
45	0,25	4,93	1,97	$v = 77 \text{ м/мин}$
45	0,31	5,37	1,73	$l = 10 \text{ мм}$
45	0,4	6,0	1,5	$\gamma = 0^\circ, \varphi_1 = 10^\circ$
45	0,5	6,65	1,33	$\alpha = 10^\circ$
45	0,63	7,3	1,16	
45	0,8	8,3	1,04	
45	1,0	9,0	0,9	
60	0,2	4,25	2,14	$\sigma = 440 \text{ кг/см}^2$
60	0,25	4,7	1,89	$v = 80 \text{ м/мин}$
60	0,31	5,02	1,62	$l = 10 \text{ мм}$
60	0,4	5,72	1,43	$\gamma = 0^\circ, \varphi_1 = 10^\circ$
60	0,5	6,2	1,24	$\alpha = 10^\circ$
60	0,63	7,0	1,11	
60	0,8	7,75	0,97	
60	1,0	8,5	0,85	
75	0,2	4,0	2,0	$\sigma = 440 \text{ кг/см}^2$
75	0,25	4,4	1,76	$v = 83 \text{ м/мин}$
75	0,31	4,86	1,57	$l = 10 \text{ мм}$
75	0,4	5,4	1,35	$\gamma = 0^\circ, \varphi_1 = 10^\circ$
75	0,5	5,85	1,17	$\alpha = 10^\circ$
75	0,63	6,4	1,02	
75	0,8	7,2	0,9	
75	1,0	8,0	0,8	
90	0,2	3,64	1,82	$\sigma = 440 \text{ кг/см}^2$
90	0,25	4,0	1,60	$v = 80 \text{ м/мин}$
90	0,31	4,3	1,39	$l = 10 \text{ мм}, \gamma = 0^\circ$
90	0,4	4,82	1,20	$\alpha = 10^\circ, \varphi_1 = 10^\circ$
90	0,5	5,35	1,07	
90	0,63	5,90	0,92	
90	0,8	6,55	0,82	
90	1,0	7,2	0,72	

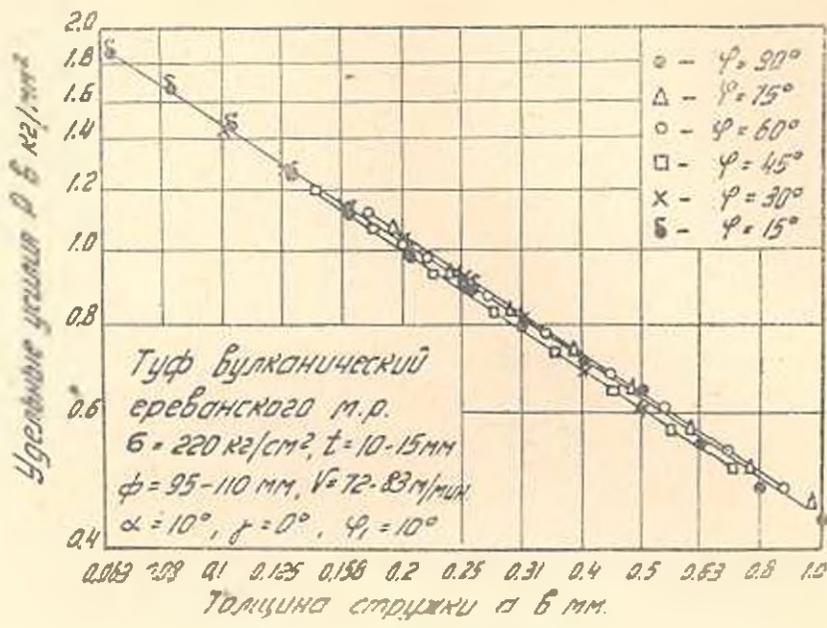


Рис. 5.

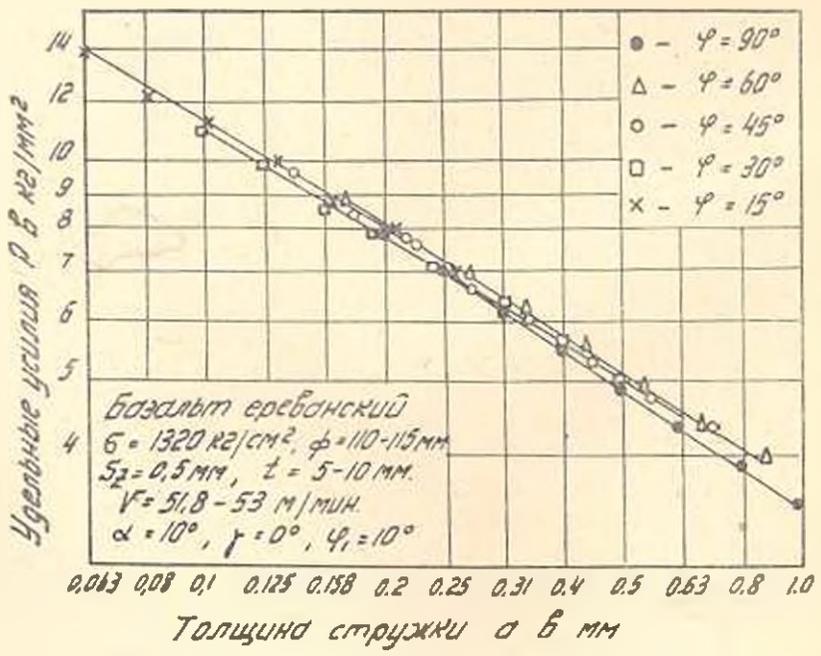


Рис. 6.

менение удельного усилия резания с изменением подачи s , или главного угла в плане φ происходит за счет изменения при этом толщины стружки.

Построив зависимости удельного усилия резания от толщины стружки, как это сделано на рис. 5 и 6 можно легко убедиться, что все экспериментальные данные, полученные при различных значениях угла φ ложатся на одну общую кривую.

Передним углом γ называется угол между передней гранью реза и плоскостью, проведенной через главную режущую кромку инструмента перпендикулярно к плоскости резания. Передний угол может иметь, как положительное, так и отрицательное значение. Для удобства часто пользуются вместо переднего угла дополнительным к нему углом — углом резания δ . Передняя грань режущего инструмента — эта плоскость, которая входит в непосредственный контакт с обрабатываемым материалом. Воздействие режущего инструмента на обрабатываемый материал осуществляется с помощью передней грани, поэтому вполне понятно, что угол ее наклона характеризуемый величинами γ или δ , должен оказывать определенное влияние на процесс резания камня.

В целях экспериментального определения влияния переднего угла γ на усилие резания, были поставлены опыты с острым режущим инструментом, имеющим следующие значения переднего угла: $\gamma = +17^\circ$, $\gamma = -10^\circ$, $\gamma = -5^\circ$, $\gamma = 0^\circ$, $\gamma = -10^\circ$, $\gamma = -18^\circ$ и $\gamma = -25^\circ$. Придание режущему инструменту приведенных выше значений переднего угла осуществлялось путем переточки инструмента. Остальные элементы геометрии инструмента при опытах имели постоянные значения: $\varphi = 90^\circ$, $\alpha = 15^\circ$, $\varphi_1 = 10^\circ$.

Такое подробное изучение влияния переднего угла проводилось только при обработке фельзитового туфа. При обработке обычного вулканического туфа и базальта зависимость эта проверялась лишь при трех значениях переднего угла. Причем в обоих случаях, наряду с нулевым значением изучалось по одному положительному и одному отрицательному значению переднего угла. Также, как и при изучении главного угла в плане φ для каждой конкретной геометрии устанавливалась зависимость $p = f(s_1)$ и сопоставление результатов проводилось путем сравнения полученных зависимостей $p = f(s_2)$.

На рис. 7 приводятся данные, полученные при обработке фельзитового туфа для различных значений переднего угла. На рис. 8 по тем же экспериментальным данным построены в обычной сетке зависимости „удельное усилие p — передний угол γ “ для различных значений подачи.

Как видно из приведенных рисунков удельное усилие с изменением переднего угла меняется весьма существенно. С уменьшением переднего угла от положительных его значений до отрицательных удельное усилие возрастает. Однако, с изменением подачи интенсив-

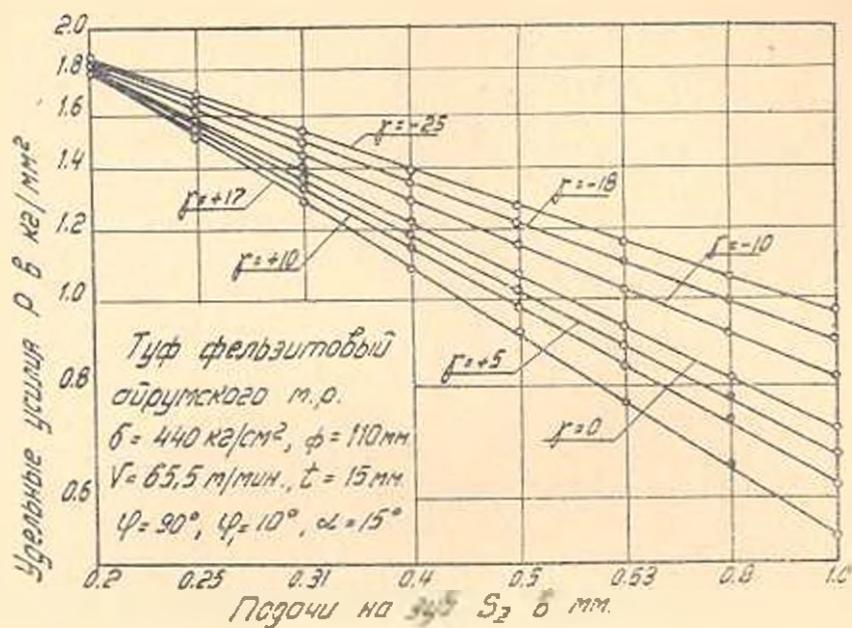


Рис. 7.

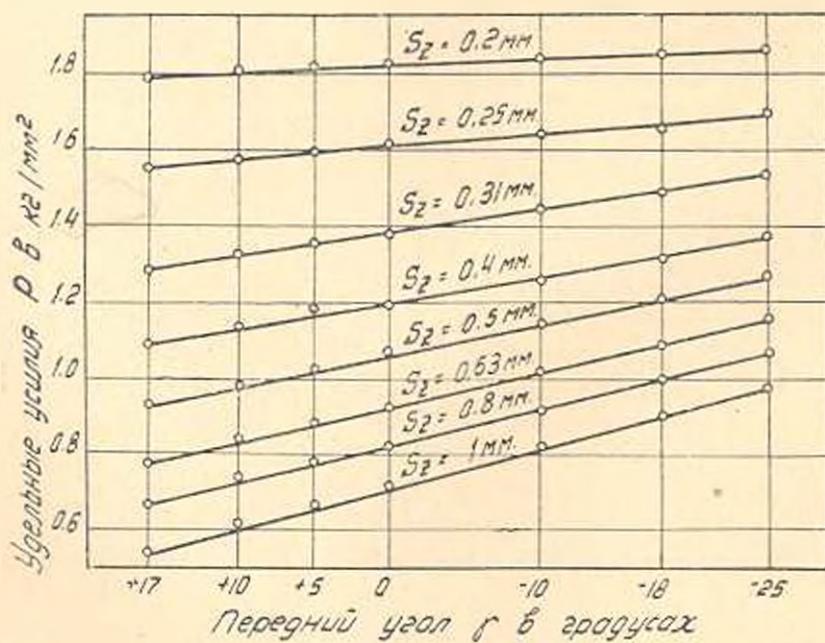


Рис. 8.

ность влияния переднего угла на усилие резания не остается одинаковой. При больших подачах влияние переднего угла на усилие резания возрастает.

Одним из объяснений такого положения может явиться наличие на режущей кромке определенного радиуса округления. Известно, что при заточке инструмента, с какой бы большой точностью она не выполнялась, режущая кромка даже при практически остром инструменте всегда остается округленной. Когда значение подачи не превышает по величине фактический радиус округления кромки, передний угол на усилие резания не влияет (для данных условий радиус округления кромки $r = 0,1 - 0,15$ мм). С увеличением подачи влияние радиуса округления уменьшается и на удельное усилие уже начинает сказываться угол наклона передней грани. Из приведенных на рис. 7 и 8 зависимостей можно видеть, что с изменением переднего угла меняются коэффициент C и показатель степени α . С учетом влияния переднего угла приведенная выше зависимость удельного усилия может быть записана, как $p = \frac{C_1}{(s_1 \sin \varphi)^{\alpha_1}}$ или $p = \frac{C_1}{a^{\alpha_1}}$, где C_1 и α_1 меняются в зависимости от переднего угла. На основе имеющихся опытных данных $C_1 = C - d_1$ и $\alpha_1 = \alpha + k_1$, где C и α соответствуют определенным выше при $\gamma = 0$ значениям.

Общее выражение зависимости удельного усилия от переднего угла запишется, как

$$p = \frac{C - d_1}{(s_1 \sin \varphi)^{\alpha + k_1}}$$

Коэффициенты d и k , также как и C и α для каждой из исследованных нами пород камня определены экспериментально и их значения приводятся в таблице 2.

Таблица 2

Наименование породы	C	d	α	k
Туф фельзитовый $\rho = 440 \text{ кг/см}^3$	0,715	0,01	0,59	0,008
Обычный вулканический туф $\rho = 220 \text{ кг/см}^3$	0,334	0,005	0,53	0,006
Базальт $\rho = 1320 \text{ кг/см}^3$	3,46	0,035	0,51	0,006

Задним углом режущего инструмента называется угол между задней гранью инструмента и плоскостью резания. При всех случаях обработки резанием задний угол α предназначается для предохранения задней грани инструмента от излишнего трения о плоскость резания.

Влияние величины заднего угла на усилие резания изучалось также при обработке всех пород камня. При фельзитовом туфе было исследовано семь различных значений заднего угла от 3 до 30°. При двух других породах камня опыты проводились с резцами, имеющими следующие значения заднего угла: $\alpha = 5^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\alpha = 15^\circ$.

На рис. 9 даются значения удельных усилий резания в зависимости от величины заднего угла при различных подачах. Как видно из приведенного графика, величина заднего угла в исследованных нами пределах его изменения на удельное усилие не оказывает никакого влияния. Аналогичная картина наблюдалась также при обработке

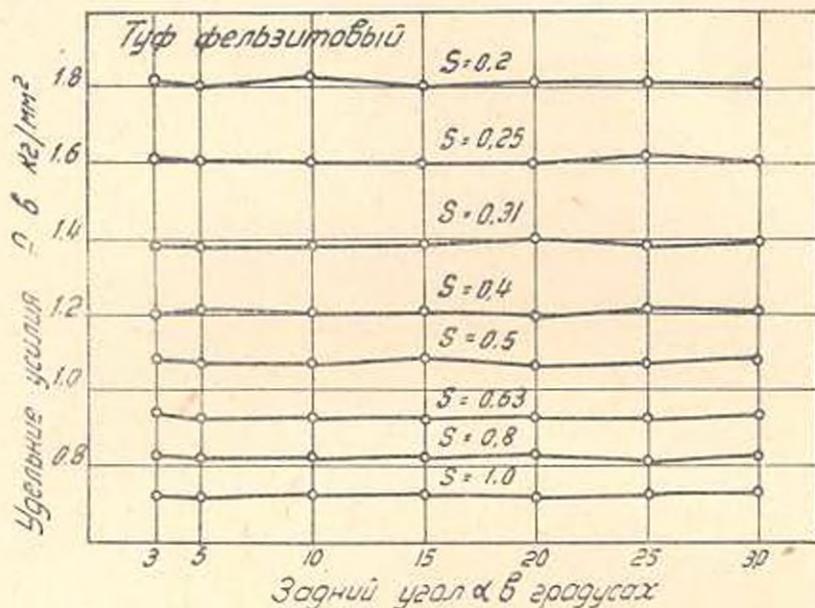


Рис. 9.

обычного вулканического туфа и базальта. Как известно, настоящие эксперименты проводились при остром режущем инструменте. Поэтому, вне зависимости от величины заднего угла контакт режущего инструмента с камнем в основном осуществляется по передней грани, а по задней грани контакт инструмента с плоскостью резания происходит только по режущей кромке. Естественно, что величина заднего угла α при остром инструменте на удельное усилие не должна влиять.

Выводы

1. При обработке камня резанием удельное усилие резания находится в степенной зависимости от толщины стружки.
2. С увеличением главного угла в плане φ до 90° удельное усилие резания уменьшается. Влияние главного угла в плане φ на усилие резания сказывается за счет изменения при этом толщины стружки.
3. Передний угол режущего инструмента на усилие резания влияет существенно. С увеличением переднего угла усилие резания уменьшается.

4. Задний угол α при остром режущем инструменте на усилие резания не влияет.

5. Общее выражение удельного усилия резания камня с учетом влияния геометрии инструмента можно записать, как

$$P = \frac{C - d \gamma}{(s_c \sin \varphi)^{a+b+k_1}}$$

при условии, что на задней грани инструмента фаски износа нет.

Институт стройматериалов и сооружений
АН Армянской ССР

Поступило 5.VI.1957

Ռ. Վ. ԱՆՊՈՎ

**ՔԱՐԻ ԿՏՐՄԱՆ ՊՐՈՑԵՍԻ ԴԻՆԱՄԻԿԱՆ, ԿԱԽԱՆՄ ԿՏՐՈՂ ԳՈՐԾԻՔԻ
ԵՐԿՐԱԶԱՓՈՒԹՅՈՒՆՆԵՑ**

Ա Ա Վ Ո Վ

Քարի կտրման պրոցեսում հիմնական դործոճներից մեկն է հանդիսանում կտրող գործիքի երկրաչափությունը, որի փոփոխությունից որոշակիորեն կախված են կտրման պրոցեսի հիմնական ցուցանիշները:

Հոդվածում յուսարանված են Հայկական ՄՍՌ շինարարական բարերի ֆրեզման մամանակ գործիքի երկրաչափության ազդեցությունը կտրման ուժերի վրա: Արագ կտրման ուժերի շափանիչ ընդանյում են կտրման տեսակարար ուժերը:

Փորձերի ընթացքում հետազոտվել են կտրիչի երկրաչափության հիմնական տարրերը՝ հատակագծի զլխավոր φ անկյունը, առջևի γ անկյունը և հետին α անկյունը: Փորձերը ցույց են տվել, որ հատակագծի զլխավոր անկյուն մեծացմանը զուգընթաց (մինչև $\varphi = 90^\circ$) տեսակարար ուժերը փոքրանում են: Տեսակարար ուժի և հատակագծի զլխավոր φ անկյան կապը արտահայտվում է հետևյալ կերպ՝

$$P = \frac{C}{(s_c \sin \varphi)^a} \text{ կամ } P = \frac{C}{a^b}$$

որովհետև՝ $a = s_c \cdot \sin \varphi$:

Կտրման ուժերի վրա առջևի γ անկյան ազդեցությունը հետազոտման մամանակ պարզվեց, որ առջևի անկյան մեծացումից կտրման տեսակարար ուժերը նվազում են: Եսայն փորձերը կատարվել են տարբեր մատուցումների համար, որոնց արդյունքները ցույց տվեցին, որ մատուցման մեծացմանը զուգընթաց առջևի անկյան ազդեցությունը ինտենսիվությունը աճում է: Այն դեպքում, երբ մատուցումը հավասար է կտրիչի կտրացման շառավղին, առջևի անկյան ազդեցությունը բացակայում է:

Սաբ կտրիչների դեպքում հետին α անկյան փոփոխությունը կտրման ուժի վրա չի ազդում:

Տեսակորար ուժերի բնդհանուր տեսքը, կախված գործիքի երկրաչափական տարրերից կլինի.

$$P = \frac{c - d\gamma}{(s_c \cdot \sin \varphi)^{k + \lambda \gamma}}$$

c , d , k և λ գործակիցների թվախիս արժեքները հետազոտված քարերի համար բերված են աղյուսակ 2-ում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Касьян М. В., Тер-Азарьев И. А. и Акопов А. А. К вопросу динамики резания естественных камней. «Известия АН Арм.ССР», т. III, № 1, 1950.
2. Касьян М. В. и Тер-Азарьев И. А. Усилия резания при обработке естественных камней. «Вестник инженеров и техников» № 3, 1952.
3. Тер-Азарьев И. А. Влияние износа инструмента на удельные усилия при резании камня. «Известия АН Арм.ССР», т. VIII, № 2, 1955.
4. Тер-Азарьев И. А. Роль подачи при резании естественных камней. «Известия АН Арм.ССР», IX, № 2, 1956.
5. Касьян М. В., Акопов А. А. и Тер-Азарьев И. А. Характеристика износа режущего инструмента при обработке туфа, базальта и гранита. «Известия АН Арм.ССР», т. III, № 4, 1950.
6. Варданян К. С. Некоторые вопросы динамики резания камня. «Известия АН Арм.ССР», т. X, № 5, 1957.
7. Акопов Р. В. К вопросу о режущих способностях различных инструментальных материалов при обработке камня. «Известия АН Арм.ССР», т. V, № 4, 1952.
8. Тер-Азарьев И. А. Влияние формы контакта режущей кромки на усилия при резании камня. «Известия АН Арм.ССР» т. X, № 2, 1957.
9. Мнджоян К. А. Эффективность виброрезания естественных строительных камней. «Механизация строительства», № 11, 1955.
10. Абрамян А. А. Экспериментальные исследования скалывания естественных камней. «Известия АН Арм.ССР», т. X, № 1, 1958.