

СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

К. С. ВАРДАНЯН

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ДИНАМИКИ РЕЗАНИЯ КАМНЯ*

Усилие возникающее в процессе резания естественных камней зависит от физико-механических свойств материала, условий напряженного состояния [1] возникающих в камне при его разрушении зависящих, в свою очередь от формы резания [2], геометрии резца [3], режимов резания и ряда других факторов.

Резание можно рассматривать как два самостоятельных и одновременно протекающих процесса — стружкообразование и истирание задней грани резца о камень. Исследование процесса стружкообразования должно быть направлено на установление связи между удельными усилиями резания и физико-механическими свойствами материала. Если при изучении процесса стружкообразования константы резания должны быть связаны с прочностью материала, то истирание (износ) задней грани резца о камень, являющееся следствием абразивности материала, следует связать с микротвердостью отдельных зерен минералов [4].

Рассмотрим силы действующие на резец (рис. 1) при свободном резании.

На рис. 1 приняты следующие обозначения:
 N — нормальная сила действующая на переднюю грань резца;

$\mu N = F$ — сила трения действующая на переднюю грань резца;

N_1 — нормальная сила действующая на заднюю грань резца;

$\mu_1 N_1 = F_1$ — сила трения действующая на заднюю грань резца.

Силы, действующие на заднюю грань (N_1 ; F_1), возникают в результате движения резца по шероховатой поверхности, а также вследствие упругой деформации системы станок—инструмент—камень.

Поскольку силы, действующие на переднюю и заднюю грани режущего инструмента различны, как по источникам возникновения, так и по характеру изменения в зависимости от режимов резания и

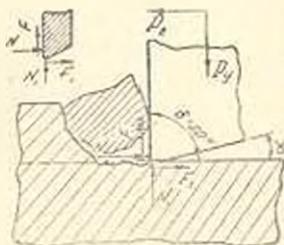


Рис. 1. Схема сил, действующих из переднюю и заднюю грани резца при свободном резании.

* Опыты были проведены в Институте стройматериалов и сооружений АН Армянской ССР под руководством академика АН Арм. ССР М. В. Касяна.

геометрии инструмента, то становится вполне естественным их самостоятельное изучение.

После предварительных экспериментов и апробации различных методов определения сил действующих на заднюю грань, применяемых в резании металлов [5], пришлось остановиться на методике, наиболее приемлемой при обработке камня, т. е. на способе определения сил, действующих на заднюю грань при различном его износе сохраняя неизменность стружкообразования при постоянстве прочих факторов.

Сущность указанной методики заключается в следующем: получив экспериментальные зависимости $P_z = f(\Delta_2)$; $P_y = f_1(\Delta_2)$ (рис. 2), определяем точки пересечения этих кривых с осью ординат.

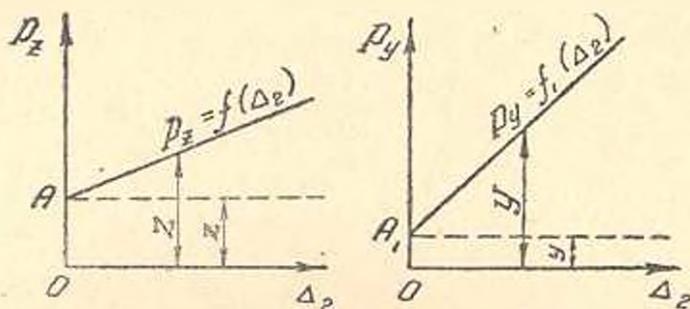


Рис. 2. Графическое представление методики определения сил действующих на переднюю и заднюю грани реза при различных износах по задней грани.

На рисунке: P_z — усилие резания, действующее по направлению рабочего движения по оси z ; P_y — усилие резания, действующее перпендикулярно направлению рабочего движения по оси y ; Δ_2 — высота площадки износа по задней грани реза.

Полученные точки (A и A_1) дают нам ординаты, характеризующие усилие, действующее на переднюю грань при определенном радиусе закругления. Проведя через точки (A и A_1) вспомогательные прямые, параллельные оси абсцисс (пунктирная линия) получим усилие, действующее на заднюю грань, как разность ординат кривых и вспомогательных прямых ($Z-z$; $Y-y$).

Эксперименты были проведены на токарном станке ДИП-200. Измерение составляющих усилия резания осуществлялось при помощи трехкомпонентного динамометра с тензометрическими датчиками. Запись велась на 24 шлейфовом осциллографе. При обработке экспериментальных данных за усилие резания бралось среднее значение усилия, определяемого планиметром.

Обрабатываемый материал — фельзитовый туф Керплинского месторождения ($\sigma_{сж} = 575 \text{ кг/см}^2$). Режущий инструмент был оснащен твердым сплавом ВК-8 и имел следующие параметры: $\alpha = 12^\circ$; $\gamma = 0^\circ$.

На рис. 3 приведены графики зависимостей составляющих усилия резания P_z и P_y при различных износах по задней грани.

Как видно из графика при $a = \text{const.}$ $b = \text{const.}$ функции $P_z = f(\Delta_2)$ и $P_y = f_1(\Delta_2)$ являются прямыми и могут быть представлены уравнениями:

$$P_z = N + K_1 \Delta_2 = 12,5 + 19,1 \Delta_2 \text{ кг};$$

$$P_y = F + K_2 \Delta_2 = 7,1 + 34,3 \Delta_2 \text{ кг}.$$

В этих уравнениях первые члены представляют усилия действующие из переднюю грань резца, а вторые члены — усилия действующие на заднюю грань [3]; коэффициенты трения по передней и задней граням можно определить из отношений касательной силы к нормальной для соответствующей грани резца.

Для получения условного коэффициента трения по задней грани достаточно взять отношение угловых коэффициентов (K_1 и K_2) полученных прямых. Для данного конкретного случая будем иметь:

$$\mu_1 = \frac{K_1}{K_2} = \frac{19,1}{35,4} \approx 0,56.$$

Вместе с тем отношение ординат при $\Delta_2 = 0$ (рис. 3) дает условный коэффициент трения по передней грани. Для рассматриваемого случая:

$$\mu = \frac{N}{F} = \frac{7,1}{12,5} \approx 0,57.$$

Аналогичные эксперименты были проведены при различных подачах ($a = 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2$ мм/об).

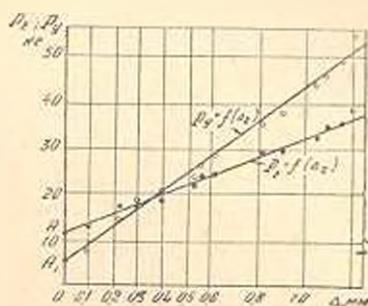


Рис. 3. Влияние износа по задней грани на составляющие усилия резания P_z и P_y (свободное резание $a = 0,1$ мм/об, $b = 10$ мм, $v = 60$ м/мин).

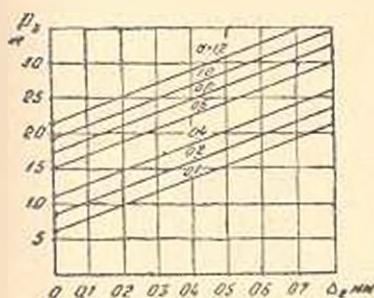


Рис. 4.

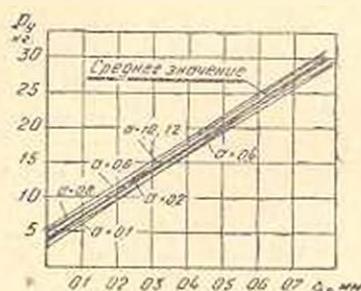


Рис. 5.

Определение сил действующих на заднюю и переднюю грани при различных толщинах среза и износах (свободное резание $b = 10$ мм, $v = 60$ м/мин).

Из рис. 4 и 5 видно, что характер протекания процесса не меняется с изменением подачи (т. к. прямые $P_z = f(\Delta_2)$ параллельны, а $P_y = f_1(\Delta_2)$ почти сливаются).

Анализируя опытные данные, показанные на рис 3, 4 и 5, можно отметить следующее:

1. Интенсивность роста P_y при увеличении износа больше чем P_z .
 2. После определенного износа значение P_y становится больше P_z , причем чем меньше подача, тем при более малых значениях износа наступает это соотношение.

3. При применении изношенного реза основная работа идет на преодоление сил трения по задней грани.

4. При резании камней обладающих большими абразивными свойствами усилие, возникающее по задней грани, при изношенном резе являются преобладающими и диктуют общий ход закономерностей всего процесса.

5. Коэффициент трения по задней грани остается величиной постоянной при различных значениях износа.

6. Коэффициент трения по передней грани с увеличением подачи уменьшается. Объяснение такого поведения коэффициента трения надо искать в условии скольжения по передней грани.

Для выяснения физической сущности абразивного износа при резании и проверки значения коэффициента трения полученного по методу изложенному выше, были проведены эксперименты при моделировании процесса износа [6], протекающего по задней грани (методом истирания). Сущность методики заключалась в следующем: образец камня закреплялся в патроне станка ДНП-200, прижатие к образцу пластинки твердого сплава осуществлялось грузами перекинутыми через трос. Динамометр был закреплен на нижнем супорте, который

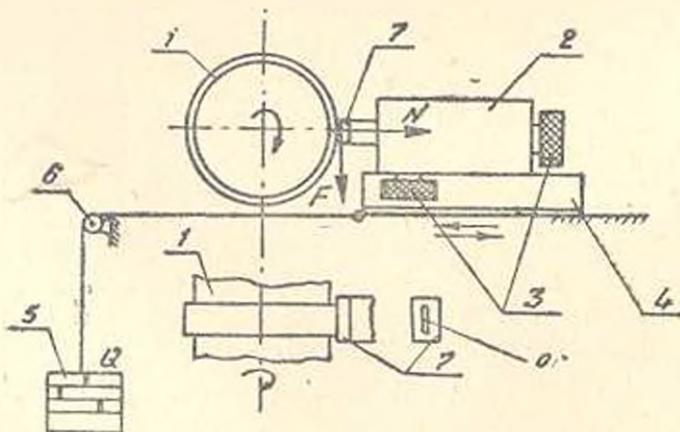


Рис. 6. Схема опытной установки. 1—камень. 2—динамометр, 3—датчики. 4—супорт, 5—груз, 6—ролик, 7—этalon (пластинка твердого сплава ВК-6). 0—отпечаток на образце $S=20 \text{ мм}^2$

имел свободное скользящее движение по своим направляющим. Коэффициент трения определялся как отношение тангенциального усилия F к нормальному усилию N . Усилия записывались при помощи датчиков (рис. 6). Этот метод дал возможность исключить влияние трения на-

правляющих и фиксировать действительные нагрузки в обоих направлениях.

Образцы были изготовлены из фельзитового туфа Керплинского месторождения ($\sigma_{сж} = 575 \text{ кг/см}^2$), Джрвежского туфа ($\sigma_{сж} = 325 \text{ кг/см}^2$) и Ереванского базальта ($\sigma_{сж} = 1450 \text{ кг/см}^2$), в виде цилиндров с кольцевыми буртиками, имеющими ширину меньшую, чем пластинка истираемого твердого сплава ВК-8, что дало возможность избежать врезания пластинки в камень.

Ниже на рис. 7 приведены в виде графиков зависимости силы трения от нормальной нагрузки для вышеуказанных пород камня. Из рис. 7 следует, что, с увеличением удельного давления коэффициент трения остается постоянным. Коэффициент трения ($\mu = 0,49$) при моделировании процесса износа для фельзитового туфа получается ниже, чем при резании (коэффициент трения по задней грани), что по видимому связано с закруглением режущей кромки.

Зависимость коэффициента трения от скорости скольжения приведена на рис. 8.

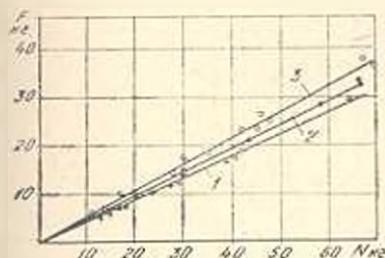


Рис. 7. Зависимость силы трения от нормальной нагрузки. 1—Джрвежский туф; 2—фельзитовый туф (Керплинский); 3—Ереванский базальт.

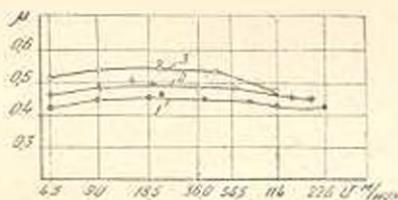


Рис. 8. Зависимость коэффициента трения от скорости скольжения 1—Джрвежский туф; 2—фельзитовый туф (Керплинский); 3—Ереванский базальт.

Для установления усилия стружкообразования в зависимости от подачи используем ординаты точек пересечения прямых $P_2 = f(\Delta_2)$ с осью P_2 (рис. 4) которые, как указано выше, характеризуются усилиями резания при неизношенном резце. По этой зависимости легко обнаруживаем степенной характер изменения усилия стружкообразования от подачи. Для того, чтобы определить влияние подачи на удельные усилия стружкообразования, являющееся по сути дела удельной работой резания без учета работы трения, достаточно разделить усилие P_2 на соответствующее фактическое сечение среза (рис. 9-а).

На рис. 9 представлена зависимость $\rho_c = f(a)$, которая является гиперболой, представляемой формулой

$$\rho_c = \frac{c}{a^0.5} = \frac{1,97}{a^{0.5}} \text{ кг/м.м}^2.$$

Для большей убедительности в правильности определяемой зависимости были проведены дополнительные эксперименты с остроэ-

точеным резцом. Эти эксперименты подтвердили полученный характер изменения зависимости $P_c = f(a)$ в виде $p_c = \frac{2,14}{a^{0,64}}$ кг/мм².

Превышение показателя степени $\alpha_1 = 0,64$ при подаче в случае резания острозаточенным резцом по сравнению со значением того же показателя степени $\alpha = 0,5$ полученного экстраполяцией связано, по-видимому, с усилием действующим на заднюю грань, которое появляется сразу же при контакте с камнем. Ниже приведены выражения зависимости компонентов усилия резания $P_z = f(b)$, $P_y = f_1(b)$ и удельных усилий резания в зависимости от ширины среза.

$$p_c = \frac{P_z}{ab} = \Phi(b); p_y = \frac{P_y}{b} = \Phi_1(b).$$

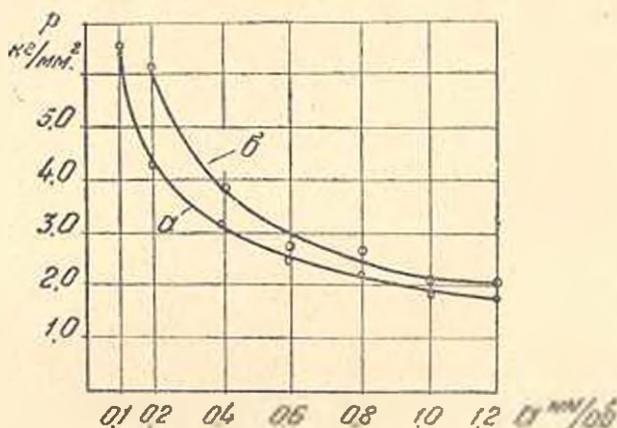


Рис. 9. Зависимость удельного усилия резания от толщины среза (свободное резание $b = 10$ м.м. $v = 60$ м/мин), а—данные получены при экстраполяции значения P_z из рис. 4 деления на соответствующие сечения стружки; б—данные получены при острозаточенном резе.

Как видно из рис. 10 ширина среза не влияет на удельные усилия p и p_y .

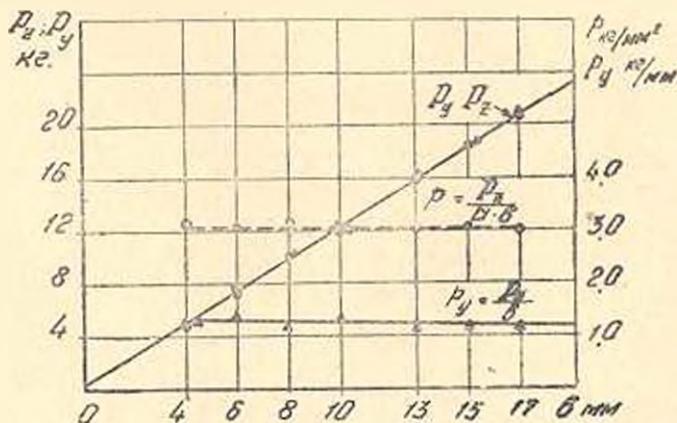


Рис. 10. Зависимость усилия резания и их удельных значений от ширины среза (свободное резание, $a = 0,4$ м.м/об, $v = 60$ м/мин).

Обобщая вышезложенное, можем прийти к следующим составляющим усилия при свободном резании;

$$P_z = K_{z1} \cdot C_1 \cdot a^2 \cdot b \gamma + k_1 \cdot b \cdot \Delta_1^2 \text{ кг} \quad (1)$$

$$P_r = K_{r1} \cdot C_2 \cdot a^2 \cdot b + k_2 \cdot b \cdot \Delta_2^2 \text{ кг} \quad (2)$$

В нашем случае, когда $0,1 < a < 1,2$ мм/об $3 \leq b \leq 20$ мм, $x_1 = 0$, $x = 0,5$, $y = 1,0$, $C_1 = 1,97$, $C_2 = 0,71$, $z_1 = z_2 = 1,0$, $k_1 = 1,91$, $k_2 = 3,43$, где K_{z1} ; K_{r1} — коэффициенты, учитывающие влияние переднего угла (см. таблицу 1):

x , x_1 , y — показатели степени, зависящие от формы резания.

a — толщины среза в мм;

b — ширина среза в мм;

C_1 и C_2 — коэффициенты характеризующие физико-механические свойства материала.

Таблица 1

Значения K_{z1} и K_{r1} в зависимости от γ

γ	$+20^\circ$	0°	-10°	-20°
K_{z1}	0,9	1,0	1,2	1,5
K_{r1}	0,9	1,0	1,1	1,3

Тогда уравнения (1) и (2) (при $\gamma = 0^\circ$) примут вид

$$P_z = 1,97 \cdot a^2 \cdot b + 1,91 \cdot b \cdot \Delta, \quad P_r = 0,71 \cdot b + 3,43 \cdot b \cdot \Delta_2.$$

Эксперименты, поставленные при полусвободном резании подтвердили правильность формул (1) и (2), полученных для свободного резания, однако при переходе на полусвободное резание в уравнениях (1) и (2) вместо ширины среза b во вторых членах уравнений надо брать суммарную длину режущих кромок, находящихся в контакте с камнем, по главной и вспомогательной режущей кромке (рис. 11).

На рис. 11 длина контакта равна сумме отрезков $kl + lm$ или $b + a'$. Отрезок a' можно определить из треугольника lmp

$$a' = \frac{h}{\sin \varphi} = S \frac{\sin \varphi}{\sin(\varphi + \varphi_1)}$$

При $\varphi = 90^\circ$,

$$a' = \frac{S}{\cos \varphi_1} = \frac{a}{\cos \varphi_1}$$

$$\begin{aligned} \text{Периметр среза } b_1 &= b + a' = \\ &= b + \frac{a}{\cos \varphi_1} \end{aligned}$$

тогда

$$P_z = K_1 C_1 a^x \cdot b^y + k_1 \cdot b_1 \Delta_1$$

При определении усилия, действующего в направлении подачи надо учесть, что кроме усилия действующего на главной режущей кромке P_y^1 также действует усилие со стороны вспомогательной режущей кромки, составляющая которого направлена обратно движению подачи P_y^* . Следовательно усилие, действующее по задней грани будет;

$$P_y = P_y^1 - P_y^* = k_2 \cdot b \cdot \Delta_2 - k_2 \Delta_2 \cdot a' \operatorname{tg} \varphi_1 = k_2 \Delta_2 (b - a' \operatorname{tg} \varphi_1)$$

где k_2 — удельное усилие, действующее на заднюю грань.

Полное усилие в направлении подачи представляется формулой:

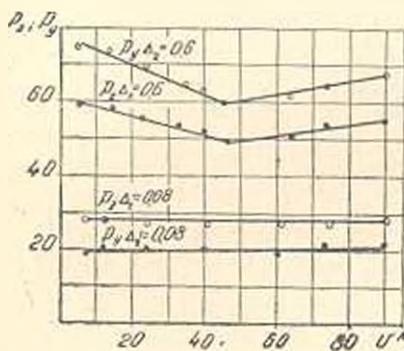


Рис. 12. Зависимость составляющих усилия резания от скорости при остро-заточенном и изношенном резце.

резания при различных скоростях (10—90 м/мин), при заточенном и изношенном состоянии инструмента (рис. 12).

Оказалось, что при остром резце скорость резания почти не влияет на усилие резания, а при изношенном резце кривые зависимости имеют седлообразный вид, что очевидно связано с износом по задней грани. Об этом также свидетельствует повышенное значение P_y по сравнению с P_z . Уменьшение усилия резания соответствующее левой ветви кривой $P_z - v$ и $P_y - v$ с ростом скорости можно объяснить, как фактическим уменьшением площади контакта износа с обрабатываемым материалом на единице пути, так и изменением действительной геометрии режущего инструмента в процессе резания.

Механизм изменения характера износа в зависимости от скорости резания можно представить следующим образом. При малых скоро-

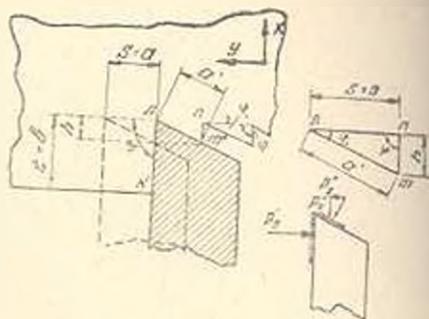


Рис. 11. Определение периметра среза при полусвободном резании.

$$P_y = K_1 C_2 a^x \cdot b + k_2 \Delta_2 (b - a' \operatorname{tg} \varphi_1)$$

При малых значениях подачи пренебрегая величиной a' , т. е. влиянием вспомогательной режущей кромки получим формулы, выведенные для свободного резания (1) и (2).

Определенный интерес представило и выявление характера зависимости усилия резания от скорости $P_z = f(v)$; $P_y = f_1(v)$ в связи с чем был проведен ряд экспериментов. Изучалось усилие

стях происходит как-бы глубинное вырывание микро частиц твердого сплава по задней грани, которое постепенно принимает более поверхностный характер по мере возрастания скорости. Однако после перехода скорости своего определенного порога дальнейшее ее увеличение меняет характер износа уже за счет больших динамических воздействий, приводящих к ударному разрушению инструмента, при котором размеры микровыворванных частиц увеличиваются. Не менее важное значение имеет также влияние температуры, так как с увеличением скорости повышается мгновенная температура по площади контакта резца, которая изменяет состояние твердого сплава, и абразивный износ увеличивается за счет уменьшения твердости режущего инструмента.

В заключение следует отметить, что приемлемость методики определения усилий, действующих на заднюю грань для каждой конкретной породы камня должна быть обоснована исходя из особенностей данного процесса.

Институт стройматериалов и
сооружений АН Армянской ССР

Поступило 15 I 1967

Կ. Ս. ՎԱՐԳԱՆՅԱՆ

ՔԱՐԵՐԻ ԿՏՐՄԱՆ ԳԻՆԱՄԻԿԱՅԻ ՄԻ ՔԱՆԻ ՀԱՐՅՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ու մ

Բնական քարերի կտրման ժամանակ առաջացող ուժերը կախված են գնահատան զործոններից՝ նյութի ֆիզիկամեխանիկական հատկություններից, կտրման գոտում առաջացող լարվածության պայմաններից, սրոնք իրենց հերթին պայմանավորված են կտրման ձևով ու ուժիմներով, կրորի իրկրաշարժությամբ և այլն:

Կտրումը կարելի է պատկերացնել որպես երկու իրարից անկախ և միաժամանակ ընթացող պրոցեսներ, սրոնցից մեկը տաշկադոյացումն է, մյուսը՝ կտրիչի հետին նիստի շփումը քարի հետ: Այս պատկերացումը օգնում է մեզ կտրման հաստատունները կապելու քարի ֆիզիկամեխանիկական ցուցանիշների հետ՝ ստացված ստատիկական փորձարկման ժամանակ և լուծելու կտրող գործիքի մաշվածության հարցերը:

Հողվածում նկարագրվում է կտրիչի առջևի և հետին նիստերի վրա ազդող ուժերի որոշման մեթոդիկան, որի էությունը նկատյալն է.

Գրաֆիկորեն ստանալով կտրման ուժերի և հետին նիստի մաշվածքի ֆոխադարձ կապի, $P_z = f(\Delta_z, P_y, \Delta_z)$, փորձնական տվյալները, գտնում ենք այդ կորերի (նկ. 2) հատումը օրգինատների առանցքի հետ: Ստացված $[A$ և $A_1]$ օրգինատները իանդիտանում են առջևի նիստի վրա ազդող ուժերը: $[X$ և $A_1]$ կետերից տանկով օժանդակ գծեր՝ զուգահեռ արսցիսների առանցքին, կստանանք հետին նիստի վրա ազդող ուժերը, որպես կորերի և օժանդակ գծերի օրգինատների սարքերուձյուն $(Z - z, Y - y)$:

Ունենալով առձևի և հետին նիստերի վրա ազդող ուժերը, կարելի է որոշել համապատասխան նիստերի շփման գործակիցները:

Փորձերն անց են կացվել շրջառաջ հաստոցի վրա: Որպես փորձարկվող նյութ օգտագործվել է ֆելզիտային տուֆ ($G_{\text{ca}} = 525$ կգ/մ²): Ուժերի դրանցումը կատարվել է օսցիլոգրաֆի միջոցով, երեք կոմպոնենտային դինամոմետրի օգնությամբ:

Կտրման տարրեր գործոնների ուսումնասիրությունից հետո (Ս, Դ, Δ_2 , Ա, Ս) ստացված են ուժերի հաշվարկման բանաձևեր (1) և, (2) ազատ և կիսազատ կտրման ժամանակ:

Քննարկելով կատարած փորձարկման արդյունքները, հանգում ենք հետևյալ եզրակացություններին.

ա) տաշեղագոյացման տեսակարար ուժի կախումը կտրածքի հաստությունից ունի հիպերբոլիկ ձև (նկ. 9).

բ) հետին նիստի վրա ազդող ուժը ուղիղ համեմատական է հետին նիստի մաշվածքին (Δ_2) նկ. նկ. 3, 4, 5.

գ) հետին նիստի շփման գործակիցը տարրեր մաշվածքի դեպքում մնում է հաստատուն (նկ. նկ. 4 և 5).

դ) առձևի նիստի շփման գործակիցը նվազում է տաշեղի հաստությունից (նկ. նկ. 4 և 5).

ե) հզկող հատկություններ ունեցող քարերի կտրման ժամանակ, հետին նիստի վրա ազդող ուժերը զերտիչոսոյ են և որոշում են կտրման սյրացնաի օրինաչափությունը (նկ. նկ. 3, 4 և 5).

զ) կտրման ուժերի կապն արագությունից ներկայացվում է թամբաձև կորով (նկ. 12). այդպիսի օրինաչափությունը կարելի է բացատրել հետի նիստի վրա ազդող ուժերի ազդեցությամբ (հետի նիստի շփման աշխատանքով).

է) բերված է կտրման գործիքի մաշվածություն և շփման գործակիցի որոշման թանուղղակի մեթոդ՝ մոդելացման եղանակով (նկ. նկ. 6, 7 և 8).

ЛИТЕРАТУРА

1. М. В. Косьян, И. А. Тер-Азарьян, А. А. Акопов — Характеристика износа режущего инструмента при обработке туфа, базальта и гранита. Известия АН Арм. ССР, том III, № 1, 1950.
2. И. А. Тер-Азарьян — Влияние формы контакта режущей кромки на усилия при резании камня. Известия АН Арм. ССР, серия техн. наук, том X, № 2, 1957.
3. Р. В. Акопов — Комплексное исследование влияния геометрии инструмента на показатели процесса резания твердых пород камня. Диссертация, Ереван, 1956.
4. Л. А. Шрейнер — Физические основы механики горных пород. Гостехиздат, 1950.
5. Н. П. Зорев — Вопросы механики процесса резания металлов. МашГИЗ, 1956.
6. В. Д. Кузнецов — Физика твердого тела. Том IV, Томск, 1947.