

СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

И. А. Тер-Азарьян

Влияние износа инструмента на удельные
 усилия при резании камня

Работами предыдущих лет [1] была установлена зависимость между подачей и удельными усилиями резания, при неизменной скорости резания, в виде:

$$p = \frac{C_1}{S^2} \text{ кг/мм}^2, \text{ где}$$

C_1 — коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого камня,
 S — подача (на зуб при фрезеровании, на оборот при точении и т. д.).

Большой практический интерес представляет увязка этой зависимости с износом инструмента. Это даст, с одной стороны, возможность определить величину p при любом износе инструмента, с другой — определить ту величину износа, которая должна быть принята максимально допустимой с точки зрения благоприятности протекания самого процесса резания.

Опыты были поставлены на трех породах:

1. Туф армянский прочностью на сжатие 415—420 кг/см².
2. Туф болинский " " 450—485 кг/см².
3. Базальт ереванский " " 1400—1600 кг/см².

Методика проведения экспериментов заключалась в том, что, определив зависимость p от S при остром состоянии режущей кромки резца из твердого сплава ВК-8, последний доводился до определенного затупления на какой-то подаче, замерялся износ, после чего вновь устанавливалась зависимость p от S при этом состоянии инструмента и т. д.

На фиг. 1 приведены измеряемые элементы износа инструмента. В таблицах 1, 2 и 3 приведены экспериментальные данные.

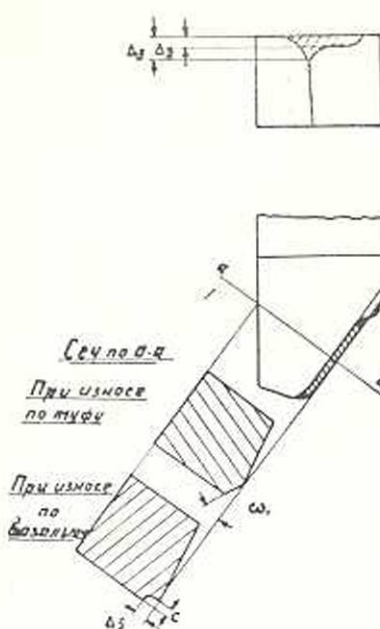
Основные данные таблиц 1—3 представлены графически на фиг. 2, 3, 4.

Как видно из приведенных данных, с увеличением износа инструмента по задней грани значения удельных усилий также возрастают, однако интенсивность возрастания удельных усилий все время

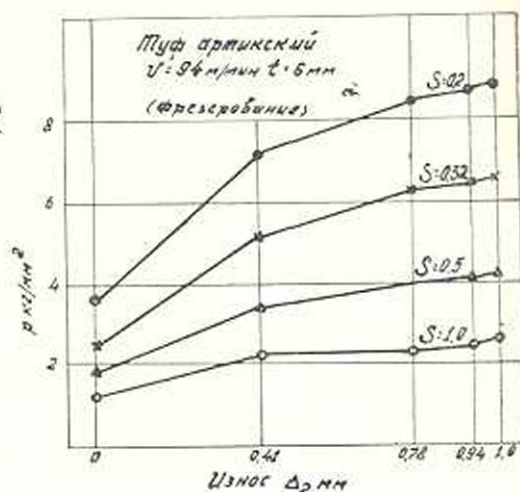
* Местонахождение в Грузинской ССР

отстает от роста износа по задней грани Δ_2 и после определенной величины износа, практически, значения удельных усилий стабилизируются.

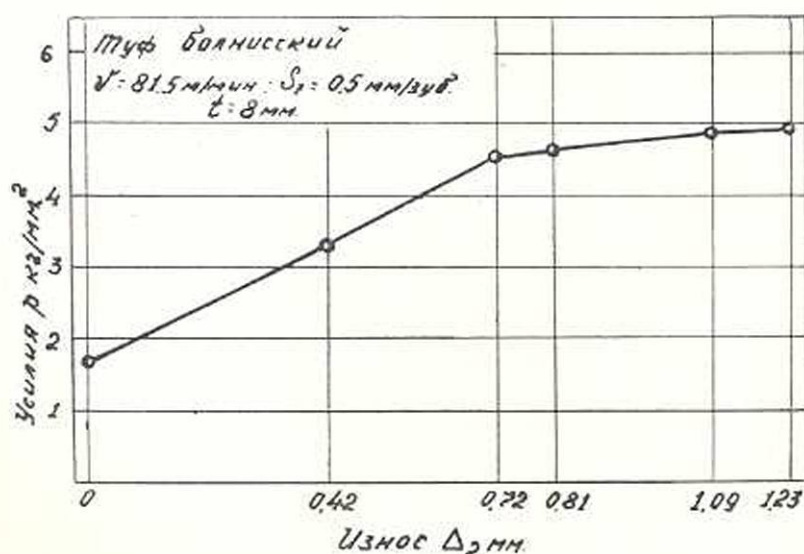
Такое поведение p с изменением износа инструмента, несомненно связано с ухудшением состояния инструмента, однако ни один из замеряемых элементов износа не может характеризовать такое поведение p . На самом деле, из



Фиг. 1.



Фиг. 2.



Фиг. 3.

фиг. 5—6 видно, что с увеличением продолжительности работы инструмента замеряемые элементы износа Δ_1 , Δ_2 растут с неизменной

интенсивностью, а из фиг. 2—4 видно, что удельные усилия имеют стремление к стабилизации, после определенного износа

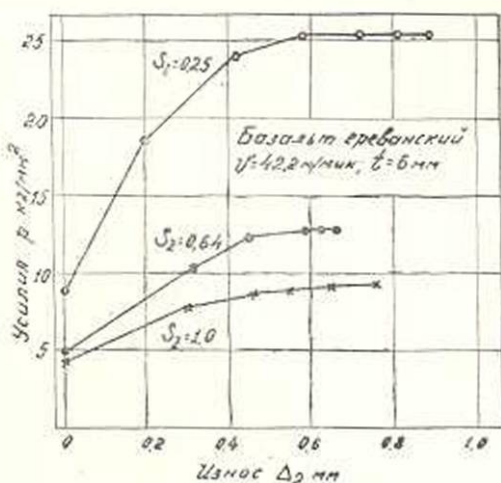
Поскольку величины Δ_1 и Δ_2 характеризуют износ инструмента по задней грани, а фаска износа по задней грани является основной трущейся частью инструмента (по задней грани), то, следовательно, значения p с износом инструмента увеличиваются не за счет той части работы резания, которая затрачивается на трение по задней грани.

Работа резания $W_{рез}$ имеет выражение:

$$W_{рез} = W_{тр} + W_{разр},$$

где $W_{тр}$ — полная работа трения,

$W_{разр}$ — работа разрушения,



Фиг. 4.

Таблица 1

Туф артекский (фрезерование)

Обработ. поверхн. в мм^2	Износ в мм		Усилия p кг/мм^2 при подаче на зуб						Постоянные факторы
	Δ_1	Δ_2	0,2	0,32	0,5	0,64	0,8	1,0	
0	0	0	3,53	2,54	1,9	—	1,35	1,05	$v=94 \text{ м/мин}$
0,74	0,41	0,64	7,2	5,19	3,55	3,07	2,56	2,27	$t=6 \text{ мм}$
1,48	0,78	1,02	8,5	6,42	4,1	—	3,0	2,4	$\varphi=60^\circ, \varphi_1=10^\circ$
2,22	0,94	1,35	8,9	6,65	4,25	—	3,22	2,52	$\alpha=10^\circ, \gamma=0$
2,96	1,0	1,41	9,5	6,8	4,35	—	3,23	2,57	$z=0, \lambda=0$

Таблица 2

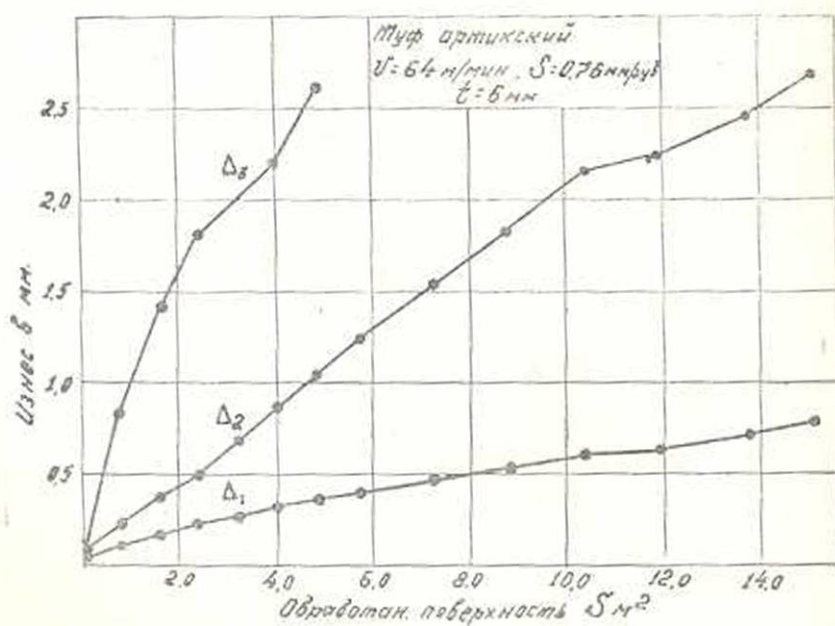
Туф базальтский (фрезерование)

Обработ. поверхн. в мм^2	Износ Δ_2 в мм	Усилия p кг/мм^2	Постоянные факторы
0	0	1,65	$v=81,5 \text{ м/мин}$, $t=8 \text{ мм}$
0,23	0,42	3,28	$s_z=0,5 \text{ мм/зуб}$
0,505	0,72	4,55	$\varphi=86^\circ$, $\alpha=16^\circ$, $\varphi_1=10^\circ$
0,615	0,81	4,65	$\gamma=0$, $z=0$, $\lambda=0$
0,89	1,09	4,9	
1,055	1,22	5,0	

Таблица 3.

Базальт срезанский (фрезерование)

Обработка по- верхности в мм ²	Подача $s_z =$ $=0,252 \text{ мм/зуб}$			Подача $s_x =$ $=0,64 \text{ мм/зуб}$			Подача $s_y =$ $=1 \text{ мм/зуб}$			Постоянные факторы
	$\Delta_1 \text{ мм}$	$\Delta_2 \text{ мм}$	$\rho \text{ кг/мм}^2$	$\Delta_1 \text{ мм}$	$\Delta_2 \text{ мм}$	$\rho \text{ кг/мм}^2$	$\Delta_1 \text{ мм}$	$\Delta_2 \text{ мм}$	$\rho \text{ кг/мм}^2$	
0	0	0	9,1	0	0	5,2	0	0	1,3	$v=42,2 \text{ м/мин}$
0,012	—	—	15,0	—	—	—	—	—	—	$t=6 \text{ мм}$
0,024	0,25	0,59	18,6	—	—	8,4	—	—	—	$\varphi=60^\circ, \varphi_1=10^\circ$
0,036	—	—	21,6	—	—	—	—	—	—	$\tau=10; \gamma=0$
0,048	0,43	—	24,0	0,31	0,56	10,35	0,3	0,62	7,9	$z=0, i=0$
0,06	—	—	25,8	—	—	—	—	—	—	
0,072	0,58	—	25,4	—	—	11,0	—	—	—	
0,084	—	—	25,9	—	—	—	—	—	—	
0,096	0,73	1,17	25,4	0,45	0,81	12,4	0,46	1,0	8,6	
0,108	0,81	—	25,4	—	—	—	—	—	—	
0,12	0,9	1,28	25,4	—	—	12,4	—	—	—	
0,135	—	—	—	0,58	0,98	12,6	—	—	—	
0,145	—	—	—	—	—	—	0,55	1,09	8,85	
0,168	—	—	—	0,62	1,06	12,8	—	—	—	
0,18	—	—	—	0,66	1,18	12,8	—	—	—	
0,195	—	—	—	—	—	—	0,65	1,21	9,25	
0,24	—	—	—	—	—	—	0,76	1,35	9,35	



Фиг. 5.

и, следовательно, рост удельных усилий с износом инструмента происходит либо за счет работы разрушения $W_{\text{разр.}}$, либо за счет работы трения по передней грани.

Причина роста удельных усилий за счет увеличения работы разрушения видна из следующего.

Воздействие обрабатываемого материала на режущий инструмент при остром его состоянии оказывается исключительно через переднюю грань и возможно, что если бы не было первоначального износа по передней грани, не имел бы место и износ по задней, так как трущейся частью реза по задней грани в остром состоянии теоретически является сама режущая кромка. Следовательно, при неизменном воздействии обрабатываемого материала на переднюю грань инструмента, величина фаски износа по задней грани (при отсутствии износа по передней грани, т. е. при условии совпадения направления плоскости фаски износа с плоскостью резания) не может оказать никакого влияния на величину работы трения, так как будет иметь место равенство:

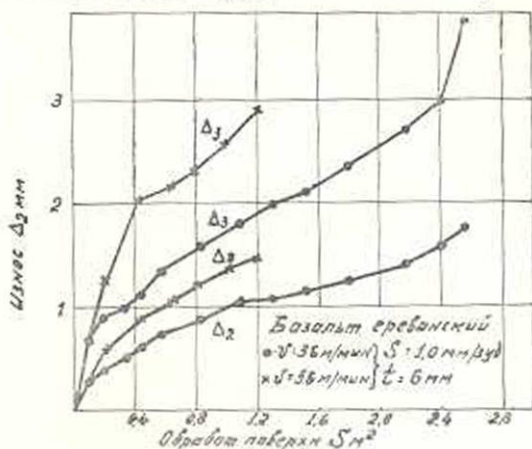
$$\Delta_{21} b_1 p_1^1 = \Delta_{22} b_2 p_2^1$$

где p_1^1 — удельные усилия при фаске износа Δ_{21} ,
 p_2^1 — " " " " " " " " Δ_{22} .

Эти обстоятельства привели к мысли, что величина p при изношенном состоянии инструмента является функцией состояния самой режущей кромки, ее режущей способности. Однако, ввиду разнородного характера износа инструмента при обработке твердых и мягких пород [2], такое предположение требовало самой серьезной проверки. С этой целью были изучены известные ранее данные [1], а также поставлены специальные эксперименты.

Прежде чем перейти к непосредственному изложению имевшихся данных, необходимо коротко остановиться на общих закономерностях износа инструмента при обработке камня, каковые разрешат правильно оценить влияние износа из характер поведения удельных усилий.

Как известно [2], при обработке туфа износ характеризуется тем, что на месте режущей кромки образуется площадка, наклоненная под углом $90^\circ - \phi$ к горизонтальной плоскости (см. фиг. 1). Проекция ширины этой площадки на горизонтальную и вертикальную плоскости соответственно суть: Δ_1 и Δ_2 . Тогда ширина этой площадки



Фиг. 6.

$$\Delta = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2}.$$

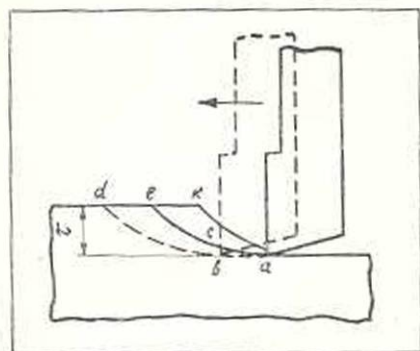
Износ инструмента при обработке твердых пород (базальта и гранита) совершенно иной и характеризуется появлением по передней грани падачки шириной Δ_1 и высотой ϵ (см. фиг. 1).

Разнохарактерность износа инструмента при обработке камней, принадлежащих к группе хрупких тел, фактически не должна наблюдаться. Происходит же это ввиду резкой интенсивности износа инструмента по передней и задней граням с изменением физико-механических свойств обрабатываемых камней.

При малом сопротивлении породы разрушению и достаточно большой абразивности износ в основном будет оформляться по задней грани (туф). С увеличением прочности породы износ проявляется и по передней грани (базальт, гранит).

При резании прочных известняков, в частности мраморов, с прочностью до 1200—1600 кг/см², обладающих малой абразивностью, наблюдается износ в основном по передней грани. Износ же по задней грани в начальной стадии по сути дела сводится к тому, что закругляется режущая кромка.

На фиг. 7 приведена схема работы остроугольного резца в сечении, перпендикулярном режущей кромке.



Фиг. 7.

Наиболее энергоемкой частью процесса является разрушение породы в зоне abc , несмотря на то, что наибольшее усилие потребно для совершения откола очередного элемента.

Износ инструмента, приводящий к округлению или разрушению режущей кромки, несомненно должен увеличить степень диспергирования материала в зоне дробления,

так как, с одной стороны, происходит сминание в зоне высотой, равной половине радиуса округления режущей кромки (при разрушении кромки эта зона увеличится), а с другой — округление кромки, уменьшая концентрацию напряжений вдоль режущей кромки, увеличит высоту площадки bcs , что в свою очередь должно привести к увеличению объема мелкого разрушения abc .

Такое поведение режущего инструмента должно найти определенное отражение во фракционном составе продуктов разрушения. При этом количественное отношение мелкой фракции должно увеличиваться с увеличением износа инструмента и чувствительно отражать состояние режущей кромки. Отсюда естественно предположить, что качественный характер увеличения фракции с износом инструмента

должен быть таким же как и характер изменения удельных усилий резания.

Приведенные в табл. 4 и 5 данные по ситовому анализу продуктов разрушения при фрезеровании базальта [1] и точении болнисского туфа подтверждают это.

Базальт севанский (фрезерование)

Таблица 4

Режимы резания			Процентное соотношение фракций				Обработ. поверхность в м ²
v м/мин	t мм	S_z мм/зуб	более 2,5 мм	2,5—0,1 мм	0,5—0,011 мм	менее 0,084 мм	
40,0	6,0	1,25	—	6,0	44,0	50,0	0
40,0	6,0	1,25	—	2,8	38,7	58,5	0,12
40,0	6,0	1,25	—	5,8	35,2	59,0	0,36
40,0	6,0	0,5	0,7	22,7	41,2	35,4	0
40,0	6,0	0,5	—	19,1	38,9	42,0	0,04
40,0	6,0	0,5	—	14,2	39,8	46,0	0,12
40,0	6,0	0,5	—	11,9	38,1	50,0	0,4
40,0	6,0	1,0	8,9	36,6	30,3	24,2	0
40,0	6,0	1,0	4,0	30,6	31,3	31,1	0,19
40,0	6,0	1,0	3,8	29,6	33,6	33,0	0,44
40,0	6,0	2,5	40,0	26,0	21,3	16,7	0
40,0	6,0	2,5	32,2	24,1	22,8	21,9	0,16
40,0	6,0	2,5	28,6	27,1	23,0	21,3	0,4

Туф болнисский (точение)

Таблица 5

Режимы резания			Процентное соотношение фракций				Износ S_z мм
v м/мин	t мм	S_z мм/об	более 3,0 мм	3,0—1,0 мм	1,0—0,16 мм	менее 0,16 мм	
83—85	6	0,6	0,5	32,6	40,2	26,7	0
83—85	6	0,6	0,3	30,6	40,2	28,9	0,29
83—85	6	0,6	—	30,8	41,2	29,0	0,41
83—85	6	0,6	—	29,2	41,2	29,6	0,67
83—85	6	1,0	11,5	41,6	28,0	18,2	0
83—85	6	1,0	8,1	43,2	28,0	21,0	0,29
83—85	6	1,0	7,5	43,2	28,3	21,3	0,41
83—85	6	1,0	6,8	42,6	28,2	22,2	0,67
83—85	6	1,0	6,7	41,9	28,7	22,9	1,0

Поскольку рост удельных усилий резания является результатом ухудшения состояния режущей кромки инструмента, представляет несомненный интерес динамика этого ухудшения. Изложенное ранее разрешает в общих чертах сделать определенное заключение о механизме изменения состояния режущей кромки инструмента, которое

сводится к тому, что в процессе работы режущая кромка, в зависимости от обрабатываемой породы и условий, претерпевает определенные изменения — округляется или выкрашивается. Однако округление или выкрашивание не может продолжаться сколь угодно долго, так как одновременный износ по задней грани способствует снятию выкрашенных мест и уменьшению радиуса округления кромки. В итоге наступает момент, когда состояние режущей кромки стабилизируется, в результате ее как-бы «самозатачивании», которое можно характеризовать как «предельное» для данных условий резания.

Помимо обрабатываемой породы, наибольшее влияние на это «предельное» состояние инструмента оказывают подача и скорость резания. При этом, чем больше подача и скорость, тем большим округлением и выкрашиванием режущей кромки характеризуется «предельное» состояние инструмента.

В таблице 6 приведены некоторые данные при фрезеровании базальта ереванского месторождения.

Таблица 6

Базальт ереванский

Обрабатываемая поверхность, мм ²	Режимы резания			Износ в мм				
	v , м/мин	f , мм	S_z , мм/зуб	Δ_1	Δ_2	ϵ	Δ_3	Δ_4
0,01	38	0,5	0,5	0,21	0,35	0,015	0,065	0,065
0,12	38	0,5	0,5	0,17	0,64	0,045	0,13	0,09
0,2	38	0,5	0,5	0,59	0,825	0,045	0,12	0,11
0,36	38	0,5	0,5	0,87	1,2	0,05	0,12	0,12
0,44	38	0,5	0,5	1,01	1,35	0,05	0,11	0,125
0,09	38	5,0	1,0	0,3	0,53	0,03	0,13	0,1
0,25	38	5,0	1,0	0,485	0,89	0,05	0,13	0,12
0,41	38	5,0	1,0	0,61	0,95	0,1	0,17	0,14
0,57	38	5,0	1,0	0,84	1,24	0,14	0,21	0,14
0,73	38	5,0	1,0	0,94	1,33	0,14	0,21	0,16
0,9	38	5,0	1,0	1,04	1,46	0,15	0,21	0,18
0,08	38	5,0	1,6	0,24	0,4	0,3	0,125	0,085
0,21	38	5,0	1,6	0,4	0,6	0,065	0,19	0,12
0,4	38	5,0	1,6	0,55	0,85	0,08	0,19	0,145
0,72	38	5,0	1,6	0,69	1,02	0,11	0,3	0,19
0,88	38	5,0	1,6	0,8	1,1	0,145	0,295	0,21
0,05	38	5,0	2,0	0,31	0,56	0,14	0,17	0,12
0,24	38	5,0	2,0	0,54	0,8	0,08	0,25	0,13
0,4	38	5,0	2,0	0,6	1,0	0,1	0,26	0,15
0,56	38	5,0	2,0	0,67	1,05	0,145	0,235	0,21
0,88	38	5,0	2,0	0,715	1,2	0,155	0,35	0,13

Как видно из таблицы, такие элементы износа, характеризующие состояние режущей кромки, как Δ_2 , Δ'_2 и C , стабилизируются и тем раньше, чем меньше подача.

Поскольку увеличение удельных усилий с износом инструмента, как было показано выше, в основном определяется ухудшением состояния режущей кромки, то представляет интерес, какой из элементов по задней или передней грани, является причиной такого ухудшения. Износ по задней грани каким-бы интенсивным он ни был (имеется в виду резание хрупких тел без учета теплового фактора), не может чувствительно отразиться на состоянии режущей кромки, оставляя на задней грани фаску износа, также как это было бы возможно сделать на любом абразивном круге большой зернистости. Ухудшение состояния режущей кромки определяется в основном износом по передней грани.

Как указывалось ранее, представляет большой практический интерес определение удельных усилий с износом инструмента. При этом следует удельные усилия увязать с тем элементом износа инструмента, который поддается наилучшему контролю и измерению. Таким элементом износа является износ по задней грани Δ_2 . Как видно из приведенных данных, что подтверждается также другими наблюдениями, при износе инструмента по задней грани $\Delta_2=1-1.2$ мм, значения p уже стремятся к стабилизации и увеличиваются в среднем в 2.5-3 раза. При этом меньшие значения соответствуют крупным подачам. Пренебрегая этим и принимая рост p при $\Delta_2=1-1.2$ мм в 2.75 раза, в очень грубой форме, зависимость удельных усилий от подачи и износа можно записать в виде:

$$p = \frac{C_1}{S^x} \sqrt{1 - 6.6\Delta_2}$$

При $\Delta_2 > 1-1.2$ мм для расчетов значения p следует принимать как для $\Delta_2=1-1.2$ мм.

В ы в о д ы

1. С увеличением износа инструмента значения удельных усилий резания p увеличиваются. Однако рост удельных усилий отстает от роста таких элементов износа, как Δ_2 , Δ'_2 и после определенного износа величина удельного усилия практически стабилизируется.

2. Причина такого поведения удельных усилий — ухудшение состояния режущей кромки с износом инструмента.

3. В процессе износа инструмента состояние режущей кромки стремится к „предельному“ для данного вида разрушения состоянию, характеризуемому условиями обработки.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Касьян М. И., Тер-Азарьян И. А. Усилия резания при обработке естественных камней. «Вестник инженеров и техников», № 3, 1952.
2. Касьян М. И., Акопов А. А. и Тер-Азарьян И. А. Характеристика износа режущего инструмента при обработке туфа, базальта и гранита. «Известия Академии наук Армянской ССР», т. III, № 4, 1950.

Հ. Թ. Տեր-Ազարյան

ԿՏՐԻՋԻ ՄԱՇՎԱԾՔԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՏԵՍԱԿԱՐԱՐ ՃԻԳԵՐԻ ՎՐԱ՝
ՔԱՐԱՀԱՏՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ

Ա. Մ. Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Նախորդ տարիների աշխատանքների շնորհիվ որոշ տանջություն էր առճամբված մատուցման և հատման տեսակարար ճիգերի միջև կտրող կզրի սուր վիճակի զեպյումը:

Այս հոգվածում տվյալներ են բերվում հատման տեսակարար ճիգերի վրա դործիքի մաշվածքի ազդեցության վերաբերյալ և ցույց է տրվում այդ առնչության բնույթը:

Բերված տվյալներից երևում է, որ կտրիչի տեսակարար ճիգերի և նրա հեռեի նիստի մաշվածքի փոխոխությունները տարբեր բնույթ ունեն, դործիքի աշխատանքի տեսչությունը երկարացնելու հեռանքով նրա մաշումը կատարվում է հաստատուն ինտենսիվությամբ, իսկ տեսակարար ճիգերի աճումը ետ է մնում մաշման աճումից և, դործականորեն, դործիքի որոշ մաշվածքի զեպյում ձգտում է կայունացման:

Էքսպերիմենտալ տվյալների վերլուծման հիման վրա կզրակացվում է, որ այդ երևույթը հիմնականում բացատրվում է դործիքի կտրիչ կզրի համապատասխան վիճակով: