

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

М. В. Касьян, А. А. Акопов и А. Тер-Азарьев

**Характеристика износа режущего инструмента при
 обработке туфа, базальта и гранита**

Наличие больших запасов разнообразных по своим физико-механическим свойствам естественных камней в Армянской ССР, обладающих высоким строительными и декоративными качествами, привело к широкому их применению как в качестве стенового, так и декоративно-стенового материала.

Основные физико-механические свойства наиболее распространенных естественных камней приводятся в таблице 1 [1].

Таблица 1

Наименование камня	Объемный вес кг/м ³	Удельный вес	Твердость по шкале Мооса	Предел прочности при сжатии кг/см ²
Туф арктический . .	750—1500	2,56	2—3	30—200
Базальт тохмахангельск.	2800	до 3,3	—	1400
Гранит памбакский .	2500—2700	2,7	5—6	1700—2300

Широкое развертывание строительства промышленных и гражданских сооружений в годы сталинских пятилеток потребовало и широкой механизации трудоемких и тяжелых процессов.

Так как одним из наиболее трудоемких процессов возведения каменных сооружений является процесс формоизменения камня, то естественно, что механическая обработка камня находит широкое поле применения.

Показатели механической обработки камня тесно связаны с их обрабатываемостью. Из всех показателей физико-механических свойств естественных камней, близко подходящих к хрупким телам, наибольшую связь с обрабатываемостью имеет твердость. Эта твердость, определенная методом статического вдавливания, характеризуется цифрами, приведенными в табл. 2.

Под обрабатываемостью (при данных конкретных условиях) нужно понимать ту поверхность обработки, которую можно осуществить при заданной величине износа режущего инструмента. В этом разрезе необходимо отметить, что характер протекания износа ре-

жущего инструмента различный при обработке камней с различными физико-механическими свойствами.

Таблица 2

№№ п. п.	Наименование камня	Твердость в кг/см ²
1	Туф арктический	3,5
2	Туф фельзитовый	40—45
3	Базальт местный	90—100
4	Граниты	130—145

Для возможности создания комплексных условий, могущих быть принятыми в основу конструирования гаммы рациональных камнеобрабатывающих станков, в лаборатории обработки камня Института Сооружений Академии Наук Армянской ССР были организованы специальные исследования по изучению поведения системы—станок—камень—инструмент.

Сложные физико-механические явления, сопровождающие процесс резания, в конечном счете отражаются на характере и интенсивности износа рабочих элементов режущего инструмента.

Поскольку для обработки поверхностей камня наиболее эффективным оказался метод торцевого фрезерования, динамика износа инструмента изучалась при этом методе.

Ввиду того, что характеристикой износоупорности инструмента может служить его износ при обработке заданной поверхности, то на основании предварительной серии опытов над ходовыми видами режущих материалов мы остановились на твердом сплаве ВК—8. Поэтому приведенные ниже данные относятся к этому сплаву.

Отказавшись от порочной методики, предложенной Тейлором в XIX в., мы пользовались специальной методикой измерения изнашиваемых элементов режущего инструмента, описание которой ранее приводилось [2].

Принятая нами методика измерения основных параметров изнашиваемых площадок на рабочих гранях и лезвиях режущего инструмента позволила изучить динамику износа по всем его основным элементам [3].

При обработке арктического туфа износом в основном затрагиваются: носик резца, главная и вспомогательная режущие кромки и обе задние грани. В процессе износа радиус закругления „г“ при вершине резца увеличивается, а в месте главной режущей кромки образуется плоская площадка, наклоненная к передней грани.

Особенностью износа элементов режущего инструмента при обработке туфа является полный абразивный его характер. Ни пластический его износ смятием, ни образование лунок, не имеют места. Кривая „износ-время“ при различных сочетаниях элементов режим-

ного поля с параметрами режущего инструмента в значительной степени отличается от той же кривой типичной при резании металлов. Если в начальный период работы инструмента, интенсивность его износа велика, как и в зоне „приработки“, то участка „нормального износа“—когда интенсивность износа стремится к нулю, так и участка катастрофического износа мы не имеем. Наоборот, какой-либо явно выраженной границы между этими двумя соседними участками установить нельзя; т. е. интенсивность износа развивалась почти равномерно, после первоначального участка. Из всех изнашиваемых элементов инструмента, наибольший интерес представляет характер и интенсивность износа главной режущей кромки. В течение короткого промежутка времени от начала резания свежезаточенным резцом, на пересечении передней и главной задней граней, вместо ребра с нормальным радиусом „ ρ “ появляется плоская площадка, наклоненная к передней грани под некоторым отрицательным углом.

Если обозначим проекцию площадки износа на горизонтальную и вертикальную плоскость соответственно через Δ_1 и Δ_2 , то ширина этой площадки может быть определена из уравнения: $\Delta = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2}$, а длина ее является функцией глубины резания, т. е.

$$l = t \cdot (\sin \varphi)^{-1}$$

Интенсивность Δ_1 и Δ_2 не постоянная; она зависит от целого ряда факторов, из которых скорость резания является одним из существенных.

Отношение $\frac{\Delta_2}{\Delta_1} = \operatorname{tg} \omega$ в значительной мере характеризует угол наклона площадки износа к передней грани. В процессе абразивного воздействия камня, режущий инструмент стремится принять такие очертания, которые приводят к некоторой стабилизации интенсивности износа. При этом образование площадки износа приближает нормальные условия резания с углом резания меньше 90° , к условиям, когда угол резания больше 90° .

К сказанному следует добавить, что с увеличением скорости резания $\operatorname{tg} \omega$ возрастает и таким образом естественные условия приводят к необходимости применения принципа скоростного резания, т. е. к сочетанию высоких скоростей с отрицательным передним углом режущего инструмента. При этом основную ударную нагрузку воспринимает не наиболее слабый участок резца—режущая кромка, а массивная его часть—передняя грань.

Сила удара при работе по туфу незначительна, но в сочетании с большой частотой $i = \frac{z \cdot n}{60}$ она может привести к усилению абразивного воздействия. Следовательно, приспособляемость режущего инструмента, в целях сокращения износа от ударного воздействия,

должна быть направлена в ту же сторону, как и при защите от воздействия скоростного фактора.

Образование площадки износа, воспринимающего на себя ударную нагрузку, привело к мысли о необходимости экспериментального изучения величины $\operatorname{tg} \omega$ при последовательном изменении величины и знака переднего угла при всех постоянных прочих факторах.

В свободной таблице 3 приведены эти данные [3].

Таблица 3

№ п. п.	Значения величины	Время работы резца в минутах				Среднее значение $\operatorname{tg} \omega$	Постоянные факторы
		13,2	39,6	52,8	79,2		
1	$\operatorname{tg} \omega$ при $\gamma = +10^\circ$	1,32	1,45	1,41	1,47	1,42	$v=187$ м/мин.
2	$\operatorname{tg} \omega$ при $\gamma = 0$	2,0	1,73	1,85	1,95	1,88	$s_z = 1$ мм/зуб.
3	$\operatorname{tg} \omega$ при $\gamma = -10^\circ$	1,4	1,85	1,93	2,0	1,8	$t=6$ мм
4	Примечание	Нарушается последовательность	Сохраняется	Сохраняется	Сохраняется		

Анализ таблицы показывает, что во всех случаях с течением времени угол наклона площадки износа увеличивается. Точно также с изменением переднего угла от $+10^\circ$ до -10° значения тангенса угла возрастает. Интенсивность поворота составляет:

$$\text{при } \gamma = +10^\circ; i = \frac{1,47 - 1,32}{66} = 0,0023,$$

$$\text{при } \gamma = 0^\circ; i = \frac{1,95 - 1,73}{39,6} = 0,0055^1,$$

$$\text{при } \gamma = -10^\circ; i = \frac{2,0 - 1,4}{66} = 0,009.$$

Таким образом, интенсивность поворота площадки наибольшая при $\gamma = -10^\circ$. При малых значениях ω в силу того, что площадка износа расположена вдоль перемещения срезаемых частиц, износ площадки протекает интенсивнее.

Сопоставление значений Δ — ширины площадки износа, приведенных в таблице 4, при различных значениях γ подтверждает изложенное.

Из табличных материалов видно, что после 79,2 мин. работы резца при заданных режимах, ширина площадки износа по главной режущей кромке достигла:

¹ Первоначальное значение $\operatorname{tg} \omega = 2$ не принято во внимание.

при $\gamma = +10^\circ$	$\Delta = 0,47 \text{ мм}$
при $\gamma = 0^\circ$	$\Delta = 0,359 \text{ мм}$
при $\gamma = -10^\circ$	$\Delta = 0,156 \text{ мм}$

Таблица 4

№ п.п.	Текущее время работы в мин.	Текущая производительность в м ²	Износ Δ в мм при			Постоянные факторы
			$\gamma = +10^\circ$	$\gamma = 0^\circ$	$\gamma = -10^\circ$	
1	13,2	0,8	0,18	0,17	0,08	$V = 187 \text{ м/мин.}$
2	39,6	2,4	0,335	0,25	0,125	$S_z = 1,0 \text{ мм/зуб.}$
3	52,8	3,2	0,408	0,295	0,153	$t = 6 \text{ м.м.}$
4	79,2	4,8	0,47	0,359	0,156	

Из приведенных данных явствует, что при работе в зоне оптимальных скоростей резания, которая для туфа лежит между 150 и 250 м/мин., необходимо применять резцы с отрицательным передним углом, что сокращает износ от 2 до 3 раз.

Кроме указанных факторов на угол ϕ площадки износа и ее величину влияет подача S_z [3].

Изменение подачи вызывает изменение угла наклона площадки износа к передней грани, а это в свою очередь изменяет интенсивность износа. Таким образом, с точки зрения высокой производительности резание туфа целесообразно производить при больших подачах, если качество обработанной поверхности не служит лимитирующим началом.

Переходя к характеристике износа режущего инструмента при обработке базальта необходимо сказать, что ввиду высокой твердости и прочности базальта и низкой его обрабатываемости вопросы механической обработки его следует изучать лишь во взаимодействии системы: станок-инструмент-камень. Наиболее существенным звеном в этой системе и в процессе эксплуатации является поведение режущего инструмента, которое не может быть predetermined сопоставлением каких-либо показателей физико-механических свойств, поскольку высокий коэффициент трения между материалом инструмента и обрабатываемым базальтом содействует повышению интенсивности износа инструмента.

Учитывая изложенное, поведение инструмента изучалось на основе длительных наблюдений за процессом резания базальта.

Как и при обработке туфов, износ резцов носит абразивный характер, но отличается своими особенностями.

Износом в основном затрагиваются: главная задняя грань, вершина резца и передняя грань.

При этом основным изнашивающимся элементом резца является главная задняя грань, на которой, вне зависимости от режимного поля, появляется фаска износа.

Износ же по передней грани либо отсутствует, либо имеет место в зависимости от режимов резания.

В процессе резания остро-заточенная вершина резца постепенно округляется, вызывая тем самым незначительную по длине и существенную по ширине факку износа по вспомогательной задней грани в виде треугольника. В дальнейшем интенсивность износа по вспомогательной задней грани, как и увеличение радиуса округления вершины резца, сокращается.

Изучение поведения режущего инструмента велось, в основном, в зависимости от скорости резания—как основного фактора режимного поля. Скорость резания менялась в пределах от 16 до 190 м/мин. При этом оказалось, что на скоростях ниже 25 м/мин. передняя грань резца износом не затрагивается, а износ по главной задней грани и вершине протекает интенсивно.

При достижении скорости резания 25 м/мин. на передней грани резца появляются признаки износа-лунка, расположенная вдоль главной режущей кромки в непосредственной близости от нее. В дальнейшем в процессе износа главной задней грани полочка, образуемая между лункой на передней грани и главной режущей кромкой, уменьшаясь в ширине, разрушается под действием значительных усилий резания. В результате этого на передней грани резца вместо лунки образуется уступ с глубиной „С“, увеличивающийся с течением времени. Динамика изменения размеров высоты уступа „С“ на передней грани резца, приведена на рис. 1, 2.

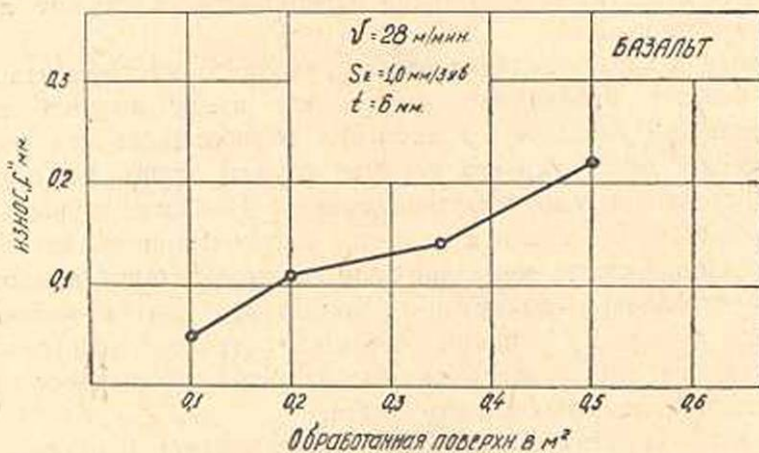


Рис. 1.

Появление лунки (уступа) на передней грани резца характеризуется скоростью резания, при этом, чем больше скорость резания, тем больше ее глубина.

На рис. 3—5 приведена динамика износа отдельных элементов резца. Как видно из рис. 3—5 в исследованной зоне скоростей резания износ по главной задней грани, износ вершины резца d_n — d и

отход главной режущей кромки a_H — а протекают следующим образом: увеличение скорости резания от 16 м/мин. характеризуется уменьшением износа по всем элементам, минимальное значение которых наблюдается при скорости резания 32—55 м/мин. Дальнейшее увеличение скорости резания от 55 до 64 м/мин. приводит к увели-

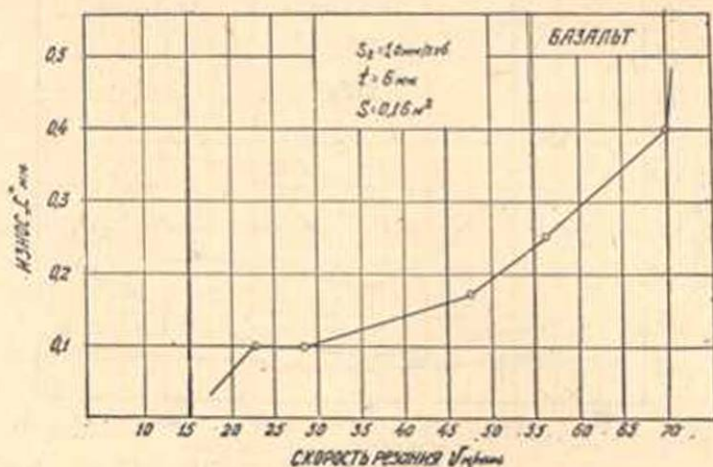


Рис. 2.

чению износа по задней грани, выше которой наступает катастрофический износ. Характерно, что износ по всем элементам, приведенным на рис. 3, 4, 5, протекает аналогично.

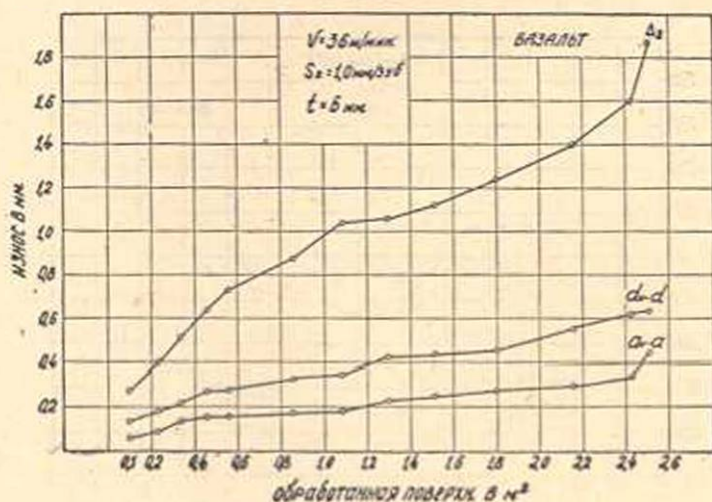


Рис. 3.

Анализ полученных материалов и наблюдения за поведением резца показали, что основным изнашиваемым элементом резца является задняя грань, износ по которой определяет износ резца. Начиная со скорости резания 25 м/мин. и выше износ по главной задней грани уменьшается, перемещаясь на переднюю грань. Зависимость

износ-скорость по передней грани (рис. 2) в зоне скоростей 25—64 м/мин. почти линейная, после чего наступает катастрофический износ. В то же время, лимитирующий стойкость резца износ по главной задней грани, по вершине и главной режущей кромке, как указывалось ранее, в той же зоне скоростей принимает минимальное

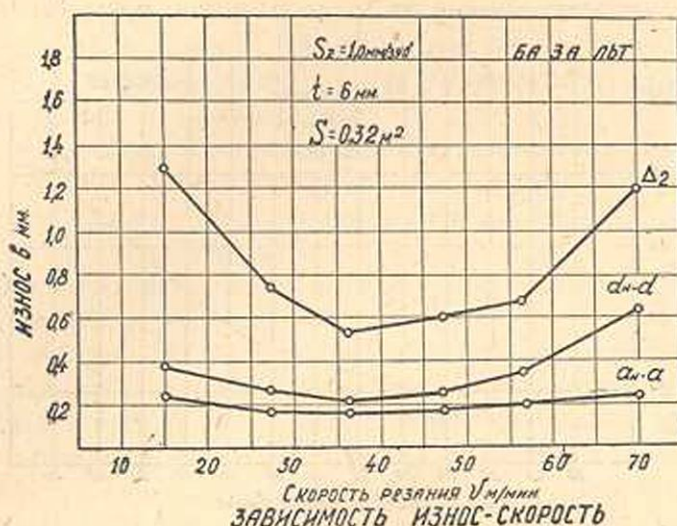


Рис. 4.

значение при скорости 32—55 м/мин. Таким образом, оптимальной зоной скорости резания для базальта следует считать зону 40—60 м/мин.

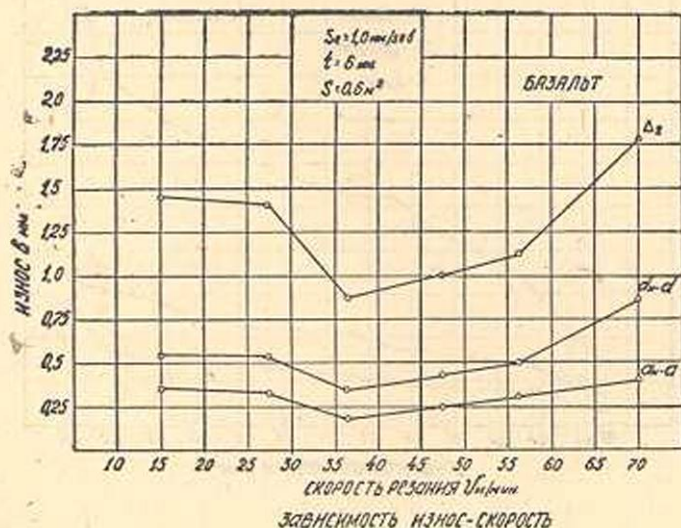


Рис. 5.

Дополнительными экспериментами было изучено поведение резца при скоростях резания 120, 155 и 190 м/мин. При этом стойкость резца оказалась ничтожной—резец стачивался на всю глубину резания.

Следует отметить, что процесс резания базальта сопровождается выделением большого количества тепла и оно тем больше, чем выше скорость резания и больше износ инструмента. О степени нагрева режущего инструмента в рабочей его зоне можно судить по появляющимся на задней грани цветам побежалости.

Износ режущего инструмента при обработке гранита, приближаясь по характеру к износу при обработке базальта, отличается своими особенностями. На передней грани образуется луночка. Между краем лунки и режущей кромкой образуется палочка. Изучая форму образованной палочки было установлено, что боковая ее поверхность со стороны луночки криволинейная, с утолщением книзу. С противоположной стороны полки расположена задняя грань резца, которая в процессе резания подвержена износу. В результате износа главной задней грани, толщина полки постепенно уменьшается и поскольку задняя грань резца энергичней изнашивается чем передняя грань, высота полки начинает снижаться. Этот процесс разрушения протекает до тех пор, пока высота полки не составит величину, приближающуюся к нулю. После этого процесс повторяется.

Сравнение приведенных результатов по обработке базальта и гранита с результатами, полученными при изучении туфа [3], показывает, что зоны оптимальных скоростей резания базальта примерно в 4, а гранита — примерно в 20 раз меньше таковых при резании туфа. Кроме того, значительно сужается диапазон оптимальных скоростей.

Таким образом, протекание явлений, сопровождающих процесс резания камней с различными свойствами, наиболее ярким представителем которых является износ отдельных зон инструмента, по существу довольно различное. Более или менее одинаковые процессы выявляются при резании базальтов и гранитов.

Мы считаем возможным привести сводный график износов при обработке камней с резко различными свойствами (см. рис. 6—7).

В системе координат износ — обработанная поверхность построены кривые, точки которых выявлены экспериментальным путем для каждой породы камня.

Объединение этих кривых дает наглядную возможность сравнить между собой обрабатываемость камней, под которой в конкретном случае нужно понимать площадь обработки, приводящей к заданному износу. Так, например, при заданном износе по задней грани инструмента $\Delta_2 = 1 \text{ мм}$ обрабатываемая поверхность, вызвавшая такой износ, составит:

при обработке серого гранита	— 0,09 м ²
„ „ розового гранита	— 0,46 „
„ „ базальта	— 0,84 „
„ „ туфа	— 7,2 „

Эти значения получены при резании указанных пород с оптимальными для каждого из них скоростями резания. Для оценки работоспособности режущего инструмента можно приведенные гра-

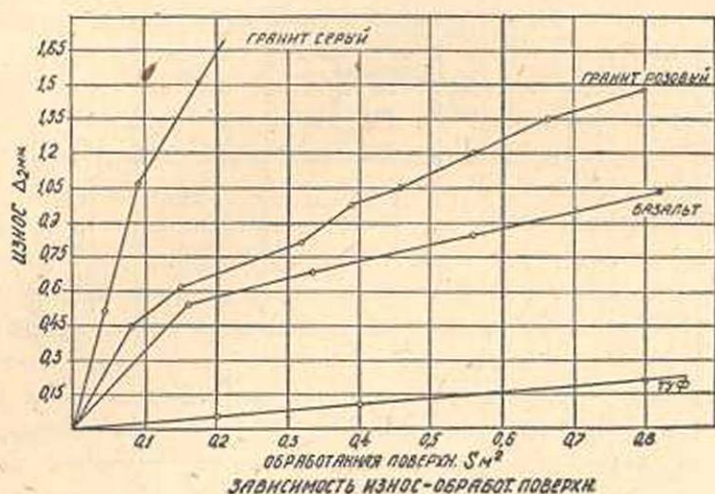


Рис. 6.

фики использовать и в другом направлении. Получение обработанной поверхности в $0,2 \text{ м}^2$ вызывает износ по задней грани при обработке:

- серого гранита — 1,65 мм,
- розового гранита — 0,67 мм,
- базальта — 0,58 мм,
- туфа — 0,06 мм,

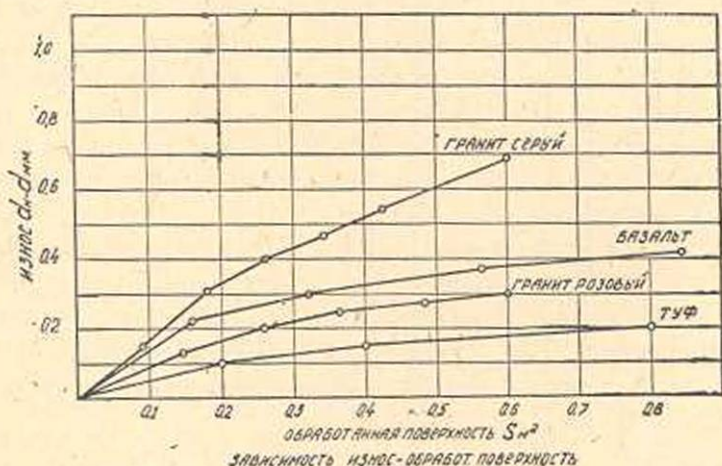


Рис. 7.

Сопоставление относительных показателей обрабатываемости туфа-базальта составляет по первой методике 8,6, а во второй 9,7.

Нужно, конечно, отметить, что расхождение этих показателей является результатом нахождения зон износа на различных участках кривой „износ-время“.

Институт Сооружений и Стройматериалов
Академии Наук Армянской ССР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник строительных материалов АН Арм. ССР, Ереван, 1948.
2. М. В. Касьян и А. А. Акопов, К вопросу о резании туфа. Изв. АН Арм. ССР, (физмат., естеств. и тех. науки), 1, № 6, 1948.
3. А. А. Акопов. Некоторые особенности износа режущего инструмента при механической обработке туфа, АН Армянской ССР, X, № 2, 1949.

Մ. Վ. Կասյան, Ա. Ա. Ակոպով, Ի. Ա. Տեր-Ազարյեզ

ԿՏՐՈՂ ԳՈՐԾԻՔԻ ՄԱՀՎԵԼՈՒ ԲՆՈՒՅՔԸ ՏՈՒՑԻ, ԲԱԶԱԼՏԻ ԵՎ ԳՐԱՆԻՏԻ ՄՇԱԿՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հողվածում բերված են տվյալներ՝ տուֆի, բազալտի և գրանիտի մշակման ժամանակ կտրող գործիքի մաշվելու մասին: Այդ տվյալներն ստացված են կտրող գործիքի մաշվելու գինամիկայի ուսումնասիրության հիման վրա: Կատարված աշխատանքը թույլ է տվել որոշել հիշյալ քարերի մշակման համար օպտիմալ աբազուրությունների դասերը: Միաժամանակ պարզված է, որ գործիքի մաշվելու բնույթը տուֆի մշակելու ժամանակ խիստ տարբերվում է ամուր սայառների մշակելու ժամանակ մաշվելու բնույթից:

Կտրող գործիքի մաշվելու գինամիկայի ընթացքն ուսումնասիրելու բնդունված մեթոդիկան: թույլ է տվել գնահատել ինչպես կտրող գործիքի մաշվելու տեսակետից համեմատական կայունությունը, այնպես էլ վերոհիշյալ քարերի մշակման ենթարկվելու համեմատական ընդունակությունը: