

СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

И. А. Тер-Азарьев

Роль подачи при резании естественных камней

Производительность процесса резания камня, при завершении обработки за один проход, в первую очередь зависит от величины подачи, будет ли эта величина выражена в объемных или поверхностных единицах. Действительно, минутная производительность процесса обработки фрезерованием в поверхностных единицах имеет вид:

$$S_{\text{фр}} = \frac{n \cdot S_z \cdot z \cdot b}{10^6} \text{ м}^2/\text{мин},$$

где n — число оборотов фрезы в минуту,

S_z — подача на зуб в мм,

b — ширина фрезерования в мм,

z — число зубьев фрезы.

Такое чисто геометрическое оперирование с величиной подачи для увеличения производительности процесса не может быть признано достаточно удовлетворительным, ввиду ухудшения качества поверхности с увеличением подачи.

Однако даже при использовании положительных качеств оригинального резца токаря Колесова, разрешающего резко увеличить величину подачи, следует учесть динамические показатели процесса резания, каковой в первую очередь является величина потребного усиления резания.

Разумное сочетание кинематических показателей процесса резания с динамическими является основой выбора максимальной производительности данного процесса резания. При этом, конечно, не следует упускать из виду особенностей, накладываемых на весь процесс характером износа режущего инструмента.

Усилие резания в зависимости от элементов сечения среза имеет вид:

$$P = p \cdot t \cdot S,$$

где p — удельное усилие резания в кг/мм²,

t — глубина резания,

S — подача.

Работы предыдущих лет [1] позволили установить устойчивую

зависимость между подачей и удельными усилиями резания при фрезеровании и точении в виде:

$$p = \frac{C_1}{S^{\sqrt{1}}}$$

Последующими работами* установлена подобная же зависимость между удельными усилиями и подачей для виброрезания и скалывания.

Поскольку указанная зависимость имеет стабильный характер, для приведенных выше видов обработки было решено проверить ее при точении и отчасти при фрезеровании на большом количестве различных пород с широким диапазоном изменения физико-механических свойств.

В таблице 1 приведена характеристика исследованных пород камней.

Таблица 1

№№ пород	Название породы	Месторождение	Предел прочности на сжатие в кг/см ²	Модуль упругости в кг/см ²	Характер испытания
1	2	3	4	5	6
1	туф	Ави, Армянская ССР	99	—	точение
2	"	Артик	104	—	"
3	"	Джрвеж	152	—	"
4	"	"	225	—	"
5	"	"	237	—	"
6	"	Ариндж	350	—	"
7	"	Бюракан	390	1,65 · 10 ⁵	"
8	туф фельзитовый	Айрум	400	—	точение и фрезер.
9	туф	Артик (китч. карьер) АрмССР	423	0,708 · 10 ⁵	точение
10	туф фельзитовый	Айрум, Армянская ССР	468	0,824 · 10 ⁵	"
11	"	Сарачло, Грузинская ССР	493	0,886 · 10 ⁵	"
12	"	Коллагран, Армянская ССР	515	0,511 · 10 ⁵	"
13	песчаник	Харболевский бугор, Сталинград	560	—	"
14	туф фельзитовый	Ноемберян, Армянская ССР	600	0,704 · 10 ⁵	"
15	трахит	Головино	739	—	"
16	"	Капутан	848	1,09 · 10 ⁵	"
17	туф фельзитовый	Сарачло, Грузинская ССР	980	1,7 · 10 ⁵	"
18	"	"	430	—	фрезеров.
19	"	"	550	—	"
20	"	"	795	—	"
21	"	"	965	—	"
22	базальт	Ереван	1180	—	точение
23	"	"	1500	5,0 · 10 ⁵	точение и фрезеров.
24	гранит розовый	Лермонтово, Армянская ССР	780	—	"
25	гранит серый	Бамбак	1750	—	"

* Диссертационная работа аспиранта К. А. Миджояна и работа А. А. Абрамяна по скалыванию.

Методика определения зависимости удельных усилий от подачи заключалась в том, что при остром состоянии инструмента, армированного металлокерамическим твердым сплавом ВК-8, при неизменной скорости резания, замерялась мощность, необходимая на процесс резания, как разность между величинами мощности, потребляемой под нагрузкой и на холостом ходу, на определенном диапазоне подач. Удельное усилие в каждом отдельном случае определялось по формуле:

$$p = \frac{N_{\text{рез}} \cdot 6120}{t \cdot S} \text{ кг/мм}^2,$$

где t — глубина резания,
 S — подача.

При этом особое внимание уделялось инструменту с целью сохранения режущей кромки в остром состоянии*.

На фиг. 1—4 данные экспериментов по некоторым указанным в таблице 1 породам представлены в логарифмической сетке.

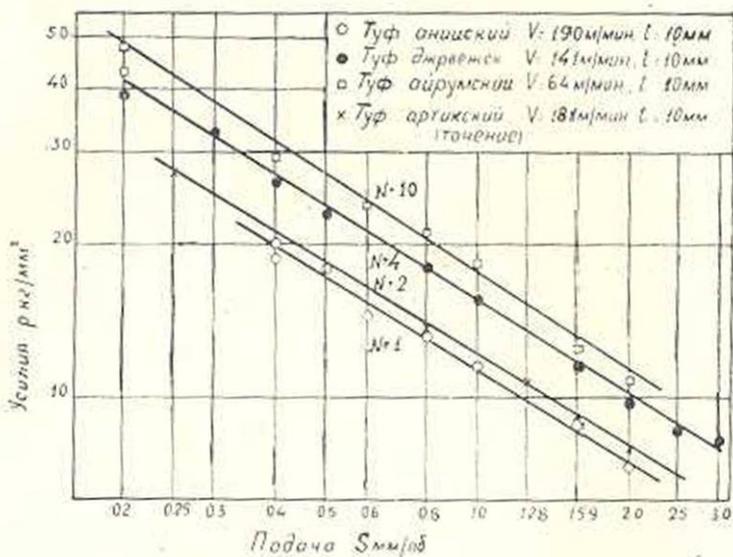
При рассмотрении приведенных графиков обращает на себя внимание весьма примечательное обстоятельство — примерная параллельность всех линий на графиках, что говорит об одинаковости влияния подачи на удельные усилия резания.

В таблице 2 приведены значения C_1 и x_1 для всех исследованных выше пород камней.

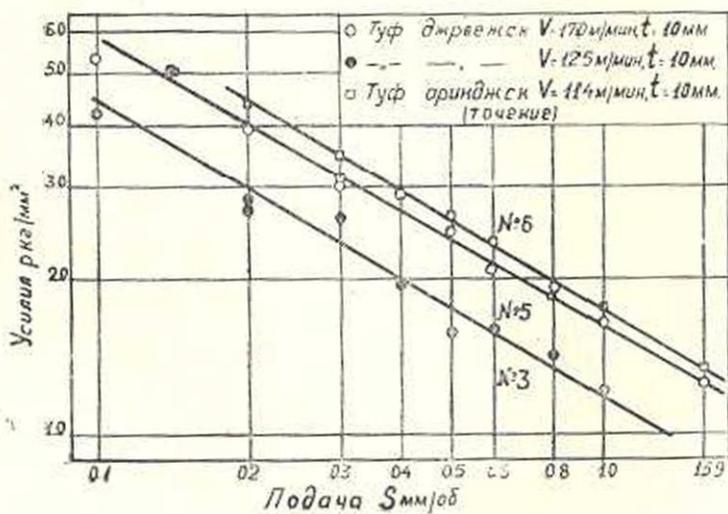
Таблица 2

№№ пород	Наименование породы	Месторождение	Скорость резания V , м/мин	x_1	C_1
1	туф	Ани, Армянская ССР	190,0	0,61	1,16
2	"	Артик	181,0	0,59	1,2
3	"	Джрвеж	125,0	0,595	1,2
4	"	"	141,0	0,6	1,55
5	"	"	170,0	0,63	1,53
6	"	Ариндж	114,0	0,59	1,74
7	"	Бюракан	55,5	0,61	2,95
8	туф фельзитов.	Айрум	66,0	0,59	1,64
8	"	"	47,8	0,61	1,88
9	туф	Артик (кипчакск. карьер) АрмССР	137,0	0,63	2,3
10	туф фельзитов.	Айрум, Армянская ССР	64,0	0,61	1,75
11	"	Сарачло, Грузинская ССР	107,0	0,61	2,4
11	"	"	42,2	0,61	2,64
12	"	Колагеран, Армянская ССР	67,8	0,63	2,2
13	песчаник	Харболевский бугор, Сталинград	35,8	0,63	5,9
14	туф фельзитов.	Ноемберни, Армянская ССР	66,5	0,64	3,16
15	трахит	Головино	37,6	0,63	3,6
16	"	Капутан	52,0	0,63	4,3
17	туф фельзитов.	Сарачло, Грузинская ССР	56,0	0,65	4,5
17	"	"	32,0	0,64	4,70
22	базальт	Ереван	49,0	0,63	8,8
23	"	"	49,5	0,62	10,5
24	гранит розовый	Лермонтово, Армянская ССР	16,95	0,63	11,2
25	гранит серый	Бамбак	12,0	0,63	15,7

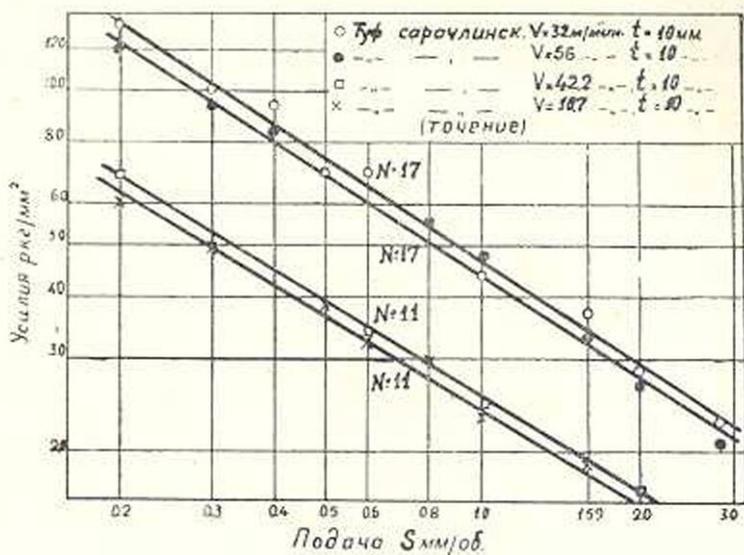
* Геометрия инструмента во всех экспериментах была одна и та же: $\varphi = 60^\circ$; $\varphi_1 = 10^\circ$; $\alpha = 10^\circ$; $\gamma = 0$; $r = 0$; $\lambda = 0$.



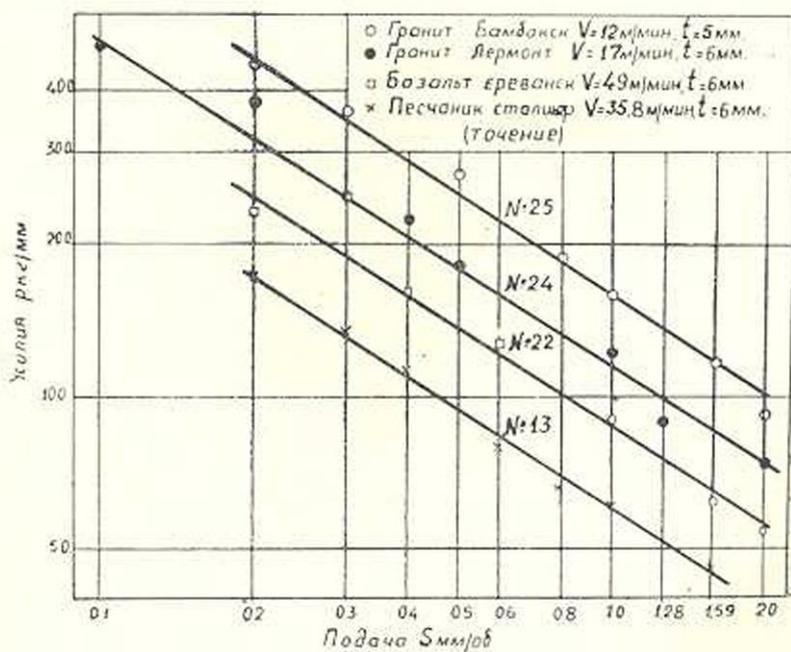
Фиг. 1.



Фиг. 2.



Фиг. 3.

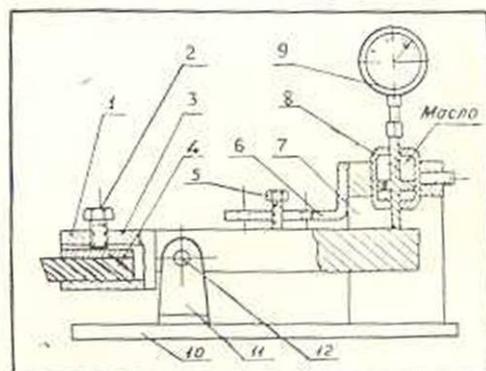


Фиг. 4.

Как видно из приведенной таблицы, значения x_1 для всех исследованных пород камней колеблются в небольших пределах, от 0,59 до 0,65, и практически, если учесть ошибки самих экспериментов, для указанных выше пород эти значения будут одинаковыми.

Между тем специальными исследованиями установлено, что значения удельных усилий резания существенным образом изменяются с износом инструмента, увеличиваясь с увеличением последнего.

Это обстоятельство требовало самого серьезного наблюдения за состоянием инструмента в процессе проведенных экспериментов. Однако невозможность создания идентичных условий, характеризующих состояние инструмента в течение всех экспериментов, возможно и явилась причиной изменения x_1 в указанных выше незначительных пределах. Не вдаваясь в анализ методов выбора усредненного значения x_1 , с достаточной точностью можем принять его как среднее арифметическое из всех полученных значений. Тогда $x_{1cp} = 0,618$.



Фиг. 5.

1 — стержень; 2 — зажимной болт; 3 — прижимная планка; 4 — резец; 5 — болт пружины; 6 — плоская пружина; 7 — стойка; 8 — масляный цилиндр; 9 — индикаторная головка; 10 — плита; 11 — опора; 12 — ось стержня.

В целях проверки зависимости $p-S$, а также стабильности и правильности определенных нами значений x_1 при непосредственном измерении удельных усилий, как $p = \frac{P_z}{t \cdot S}$, где P_z — касательная составляющая равнодействующей усилия резания, был сконструирован и изготовлен специальный рычажный динамометр к токарному станку 1Д62 М. На фиг. 5 приведена принципиальная схема динамометра.

На фиг. 6, в виде графиков, приведены данные замеров ваттметрами и динамометром при обработке базальта ереванского

месторождения с пределом прочности на сжатие $\delta = 1400-1450 \text{ кг/см}^2$. Не вдаваясь в подробный анализ некоторого несоответствия данных ваттметров с данными динамометра, а указав только, что это является следствием, с одной стороны, тарировки по вылету средней точки режущей кромки, с другой — недоучетом динамометром работы, совершаемой горизонтальной составляющей (движение подачи), отметим, что в общем виде зависимость не нарушается.

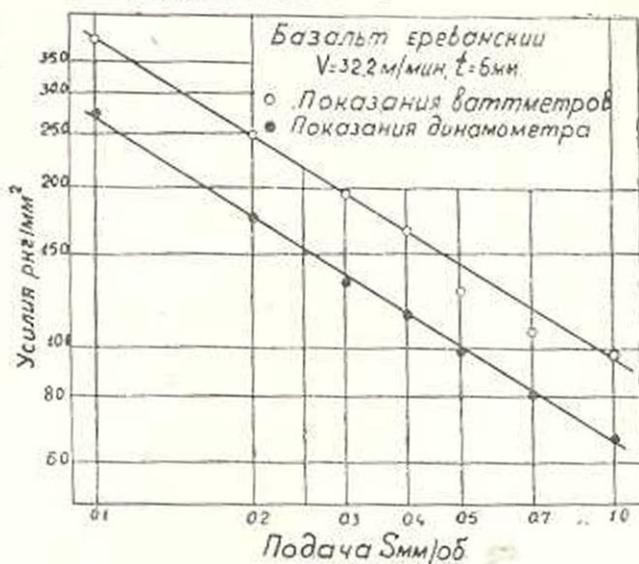
Показатели степени при подаче для условий замера динамометром будут:

1. Для базальта $\begin{cases} x_1 = 0,606 \text{ по данным ваттметров,} \\ x_1 = 0,61 \text{ по данным динамометра.} \end{cases}$

2. Для ноябрьянского туфа $x_1 = 0,615$.

3. Для джрвежского туфа $x_1 = 0,6$.

Приведенные величины x_1 полностью совпадают с приведенными ранее данными, что говорит о достоверности их.

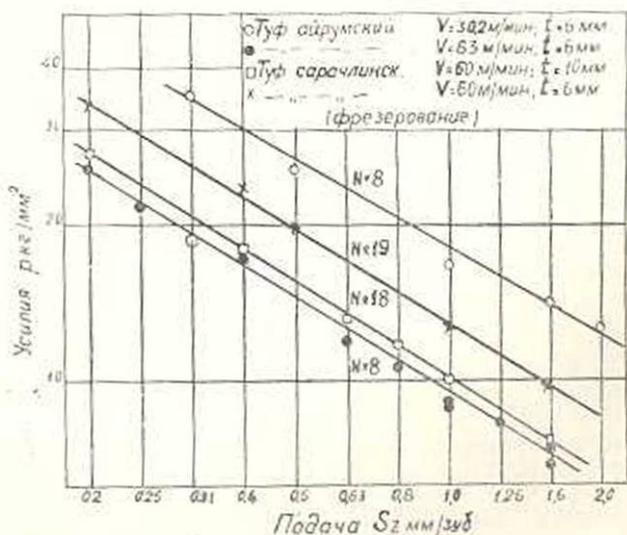


Фиг. 6.

Стабильность значений x_1 наблюдается не только при точении, но и при фрезеровании.

На фиг. 7 графически представлены данные, полученные при фрезеровании некоторых пород камней.

Среднее значение показателя степени при подаче в случае фрезерования будет $x_{\text{ср}} = 0,609$.



Фиг. 7.

Такое совпадение средних значений x_1 при точении и фрезеровании не случайно, так как оба процесса по характеру своему идентичны, и отличаются лишь тем, что при фрезеровании сечение стружки по толщине переменное. Это обстоятельство оказывает влияние, идентичное изменению подачи, которое на зависимость интенсивности влияния S на p не должно оказать воздействия, изменяя только абсолютные значения p .

Весьма любопытно, что подобную же устойчивость показателя степени при подаче установил Челюсткин при обработке металлов [2], не используя этого замечательного свойства. В таблице 3 приводятся значения x_1 для различного рода обрабатываемых металлов по данным НКТП [3], при обработке резцами из твердых металлокерамических сплавов.

Как видно из приведенной таблицы, значения x_1 изменяются лишь с изменением рода обрабатываемого металла, причем с увеличением пластических свойств значения x_1 уменьшаются.

Таблица 3

№№ п/п	М а т е р и а л	Временное сопротивле- ние в кг/мм ²	Значение коэффиц. C_1 (C_p)	x_1 ($1-x_p$)
1	Углеродистая сталь	40—80	155—193	0,22
2	Легированная сталь	50—170	182—460	0,22
3	Стальное литье	36—50	165—190	0,2
4	Чугун	140—320*	87—145	0,27
5	Бронза	20—39	60—110	0,27
6	Латунь	22—30	70	0,22
7	Дюралюмин	82—100*	60	0,22
8	Алюминий	60—80*	50	0,2

* Твердость по Бринелю.

Приведенная выше стабильность значений показателя степени при подаче при обработке различных пород камней в зависимости $p-S$ говорит о том, что показатели физико-механических свойств обрабатываемых камней не оказывают влияния на величину x_1 . Следовательно, величина C_1 должна характеризовать, с одной стороны, физико-механические свойства обрабатываемых пород, с другой — учитывать влияние всех остальных элементов, оказывающих влияние на величину удельных усилий резания.

Скорость резания оказывает существенное влияние на величину удельных усилий и износ инструмента [1]. На фиг. 8 приведены характерные кривые влияния скорости резания на величину износа при обработке разных пород.

Как видно из приведенных кривых, износ инструмента с изменением скорости характеризуется наличием зоны с минимальным износом. С увеличением прочности обрабатываемой породы эта оптимальная зона приближается к началу координат.

Чтобы исключить влияние скорости резания на величину коэффициента C_1 следует сопоставление этих коэффициентов проводить в определенных условиях. В самом деле, если мы будем сопоставлять показатели процесса резания туфов и гранитов, например при скорости резания 100 м/мин, то придем к совершенно абсурдным результатам, так как при этой скорости туфы режутся хорошо, а гранит совсем невозможно резать из-за мгновенного износа инструмента.

Также невозможно сопоставлять показатели резания этих пород и при значительно меньших скоростях, например 10 м/мин, при которой гранит поддается резанию, так как туфы возможно обрабатывать значительно лучше при больших скоростях. Следовательно, сопоставление должно производиться в условиях, оптимальных для обработки сопоставляемых пород. Очевидно, что поскольку влияние

подачи учитывается самой зависимостью $p = \frac{C_1}{Sx^1}$, а все остальные условия, как-то: состояние режущей кромки, геометрия и материал инструмента, а также глубина резания*, идентичны, оптимальные условия обработки различных пород будут соответствовать оптимальной скорости резания.

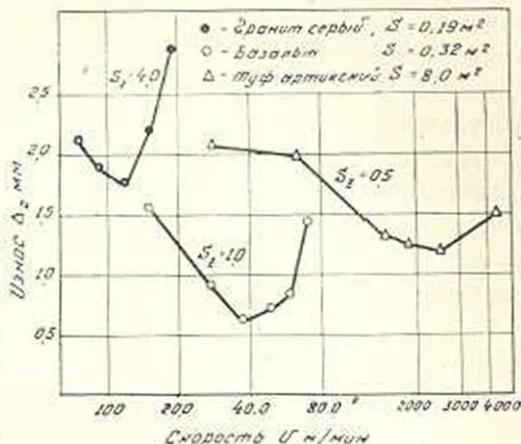
При сопоставлении в этих условиях становится очевидным, что значения C_1 характеризуют физико-механические свойства обрабатываемых пород.

В самом деле, на фиг.9 в полулогарифмической сетке приведено графическое изображение зависимости коэффициента C_1 от предела прочности на сжатие, из которого видно, что зависимость достаточно хорошо может быть выражена прямой линией**.

Уравнение этой прямой имеет вид:

$$\lg C_1 = 0,00069 \cdot \sigma \text{ или } C_1 = 10^{k\sigma}, \text{ где } k = 0,00069.$$

Очевидно, что приведенная зависимость между коэффициентом C_1 и показателями прочности обрабатываемой породы не может быть применена для определенной группы камней, составляющих исключе-

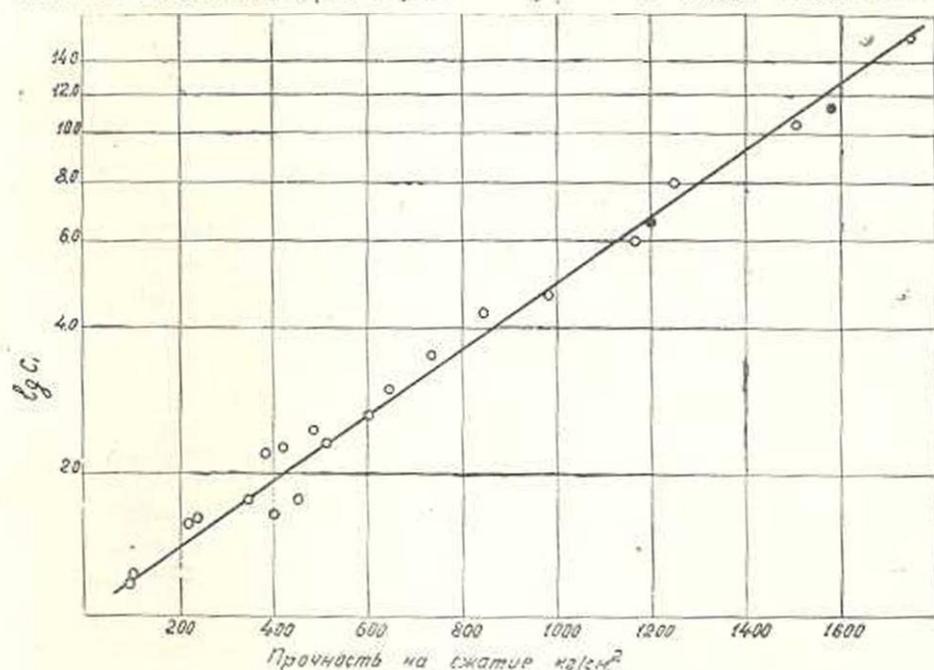


Фиг. 8.

* Глубина резания не оказывает влияния на величину удельных усилий [4].

** В график не включены породы № 13 и № 24, о которых будет сказано ниже, и, кроме того, данные таблиц, не соответствующие оптимальным скоростям резания, соответствующим образом откорректированы.

ние. Представителями подобной группы являются: порода № 13-песчаник и № 24—гранит розовый в таблице 1. Исключительность свойств этих камней в сравнении со всеми остальными заключается в том, что обрабатываемость их довольно плохая, а прочность мала. Не вдаваясь в генезис этих пород, отметим только, что ввиду наличия в этих породах большого количества кварца, абразивные свойства их и твердость отдельных зерен велики, а цементирующая связка зерен небольшая, что приводит к малой прочности, т. е., грубо говоря, мы имеем камни со структурой обычного абразивного круга (с весьма большой величиной зерен в розовом граните и малой в песчанике).



Фиг. 9.

который не только трудно поддается резанию, но сам становится режущим инструментом.

Представляет несомненный интерес расположение на приведенном графике $\lg C_1 - \sigma$ точек, соответствующих известнякам и, в частности, мраморам, ввиду некоторой свойственной им пластичности.

На фиг. 9 нанесены две точки (зачерненные), соответствующие двум породам мраморов Армянской ССР: хорвирабскому с $\sigma = 1200 \text{ кг/см}^2$ и агверанскому с $\sigma = 1560 - 1620 \text{ кг/см}^2$.

Кратковременные опыты по износу инструмента показали, что при резании этих мраморов, ввиду большой их прочности, происходит интенсивное их изнашивание по передней грани (при весьма малой интенсивности износа по задней), что в итоге по обрабатываемости причисляет их к группе обычных хрупких камней.

При этом следует отметить, что в зависимости $p - S$ показатель степени их x_1 остается примерно в тех же пределах.

Показатели степени при S для указанных мраморов следующие: для мрамора агверанского месторождения $x_1 = 0,57$, для мрамора хорвирабского месторождения $x_1 = 0,60$.

Однако следует указать, что вообще имеются предположения о некотором уменьшении показателя степени с увеличением пластичности пород, таких, как, например, известняки. Поэтому требуется более тщательная проверка значений C_1 для этих пород и, в частности, мраморов с целью определения их соответствия с фиг. 9, т. е. соответствия коэффициента C_1 их прочности, для приведенной ранее зависимости.

Изложенные ранее соображения о том, что коэффициент C_1 характеризует в определенных условиях физико-механические свойства обрабатываемой породы, разрешают правильно оценить и разрешить вопросы обрабатываемости естественных камней. Под обрабатываемостью понимается способность материала с большей или меньшей степенью легкости подвергаться обработке резанием. Однако ни один из показателей физико-механических свойств естественных камней не может служить основанием для определения обрабатываемости. Это вполне естественно, так как физико-механические показатели данного материала, полученные в статическом состоянии, не могут характеризовать тех же свойств в динамическом, и в лучшем случае могут лишь являться частью последних. Поэтому вместо статических данных в основу определения обрабатываемости необходимо принять динамические, полученные при взаимодействии инструмента и обрабатываемого камня.

Вообще говоря, обрабатываемость можно оценить разными величинами: износом, расходуемой на процесс резания мощностью, работой трения, степенью диспергирования продуктов разрушения и т. д. Однако все они не лишены тех или иных недостатков или некоторой односторонности и, кроме того, требуют наличия определенных условий для возможности сопоставления различных пород.

Анализ поведения C_1 и его свойства характеризовать физико-механические свойства обрабатываемой породы в процессе резания разрешают использовать относительное расположение этого коэффициента как показателя обрабатываемости, а его связь с пределом прочности на сжатие делают такую оценку практически приемлемой.

В таблице 4 дается относительное расположение исследованных пород по обрабатываемости при принятии обрабатываемости арктического туфа с $\sigma = 105 \text{ кг/см}^2$, равной единице.

Оценку же обрабатываемости таких пород, как № 13 и № 24 следует производить не по значениям σ , ввиду несоответствия σ с коэффициентом C_1 , а по значениям C_1 , измеренным в зоне оптимальных скоростей резания. Производя подобную оценку их обрабатываемости, найдем, что обрабатываемость породы № 13 — 0,432, а № 24 — 0,715.

Разнобой, существующий в имеющихся шкалах обрабатываемости [4] или в группах категорности в справочниках [5], объясняется Известия IX, № 2—7.

Таблица 4

№№ пород	Название породы	Месторождение	Предел прочности на сжатие в кг/см ²	Относительная шкала обрабатываемости
1	туф	Ани, Армянская ССР	99	0,96
2	"	Артик	104	1,0
3	"	Джрвез	152	1,04
4	"	"	225	1,29
5	"	"	237	1,28
6	"	Ариндж	350	1,45
7	"	Бюракан	390	2,46
8	туф фельзитовый	Айрум	400	1,37
9	туф	Артик (кипчаковский карьер) Армянской ССР	423	1,92
10	туф фельзитовый	Айрум, Армянская ССР	468	1,46
11	"	Сарачло, Грузинская ССР	493	2,0
12	"	Козагеран, Армянская ССР	515	1,83
14	"	Ноемберян	600	2,63
15	трахит	Головино	739	3,0
16	"	Капутан	848	3,58
17	туф фельзитовый	Сарачло, Грузинская ССР	980	3,75
22	базальт	Ереван	1180	6,8
23	"	"	1500	8,75
25	гранит серый	Бамбак, Армянская ССР	1750	13,1

именно тем, что в основе этих классификаций не лежат динамические показатели непосредственно процесса резания. А. Гузев [6] отмечает резкое несовпадение показателей резания со шкалой Протодьяконова.

Следует отметить, что величина C_1 (C_p) при обработке металлов, по нашему мнению, также может быть принята в основу классификации обрабатываемости. При резании металлов, как было сказано выше, наблюдается стабильность показателя степени при подаче — x_1 . Весь вопрос заключается в установлении условий, делающих такое заключение достаточно обоснованным. Если таким условием считать качество поверхности, то, приняв в основу C_1 при той минимальной скорости в правой ветви зависимости шероховатость — скорость, которая приводит к одинаковому качеству поверхности, можно вполне достоверно осуществить их градуацию по обрабатываемости.

Проведенные данные разрешают сделать следующие *выводы*.

1. Для всех пород камней при точении и фрезеровании наблюдается стабильность значений x_1 в зависимости.

$$P = \frac{C_1}{S_1^k}$$

2. Между коэффициентом C_1 и пределом прочности на сжатие существует зависимость, имеющая вид:

$$C_1 = 10^{k^*}, \text{ где } k = 0,00069.$$

Зависимость эта справедлива при условии измерения C_1 в зоне оптимальных скоростей резания.

3. Существует ряд пород, значения коэффициентов C_1 которых не подчиняются приведенной зависимости $C_1 - v$. Эти породы отличаются большой абразивностью при малой прочности цементирующей связки зерен.

4. Коэффициент C_1 , определенный в зоне оптимальных скоростей, характеризует физико-механические свойства данной породы в процессе резания. Это свойство разрешает принять относительное расположение величин C_1 при обработке разных пород как показатель их обрабатываемости, а связь этого коэффициента с показателями прочности разрешает такую оценку осуществлять весьма просто.

5. Обрабатываемость пород, не подчиняющихся найденной зависимости C_1 от v , необходимо производить по значениям C_1 , определенным в зоне оптимальных скоростей.

6. Предложенная методика оценки обрабатываемости может быть использована при резании металлов и, в частности, чугунов.

Институт строительных материалов
и сооружений АН Армянской ССР

Поступило 10 XI 1953

Հ. Ս. Տեր-Ս. զարեվ

ՄԱՏՈՒՑՄԱՆ ԴԵՐԸ ԲՆԱԿԱՆ ՔԱՐԵՐԻ ՄՇԱԿՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոգիվածում տվյալներ են բերվում տեսակարար ճիգերի փոփոխման վրա մատուցման աղյուցում ձախն, զանազան քարերի մշակման ժամանակ Ստացված էքսպերիմենտալ տվյալները ցույց են տալիս, որ Հայաստանի ամենատարածված քարերի մշակման ղեկավարման մատուցման և տեսակարար ճիգերի միջև դոյուկյուն ունի հիպերբոլային կապ: Ստացված տվյալների հիման վրա արվում է քարերի զանակարգումն ըստ նրանց մշակելիության:

ЛИТЕРАТУРА

1. Касьян М. В. и Тер-Азарьев И. А. Усилия резания при обработке естественных камней. Вестник инженеров и техников, № 3, 1952.
2. Челюсткин А. Н. Теория резания. ГОНТИ, 1932.
3. Гладилиан А. Н. Режимы резания при обточке резцами из твердых сплавов. Оборонгиз, 1941.
4. Мельников Н. В. Справочник инженера и техника по открытым горным работам. Углетехиздат, 1952.
5. Единые нормы выработки и расценки на строительные работы. Отдел 27, Госстройиздат, 1939.
6. Гузев А. А. Разрешение крепких горных пород скоростным фрезерованием. Горный журнал, № 8, 1951.