

В этой модели конечные элементы в пакете дисков позволяют моделировать контактное взаимодействие и отслоение дисков муфты с учетом трения между ними. Деформированная схема ДПМ при угловом смещении валов на 0.5 градуса представлена на рис 2 (коэффициент увеличения деформаций 50).

На рис.3. представлено распределение эквивалентных напряжений по 4-й теории прочности, а на рис. 4 зоны расслоения и сдвига между дисками в пакете.

Таким образом, с помощью предложенной методики были исследованы особенности деформирования ДПМ при угловом смещении соединяемых валов с учетом контактного взаимодействия предельно нагруженных упругих элементов в дисковом пакете муфты.

Установлено, что пренебрежение фактором учета контактного геометрически нелинейного взаимодействия упругих элементов дисковой полу жесткой муфты приводит к количественно неверным результатам и, как следствие, к нерациональным проектным решениям муфт.

На базе проведенных исследований разработана новая конструкция ДПМ, с радиусом дисков меньшим, чем у существующих аналогов, при сохранении ее прочностных и динамических характеристик.

Список литературы: 1. Поляков В.С., Барбаш И.Д., Ряховский О.А. Справочник по муфтам // Л.: Машиностроение. 1979. 2. Die Methode Der Finiten Elemente In Der Festkorpermechanik. Unter der Gesamtedaktion von J. Altenbach und A.S. Sacharov. Leipzig VEB Fachbuchverlag, 1982. 3. Сахаров А.С., Кислоокый В.Н., Киричевский В.В. и др. Метод конечных элементов в механике твердых тел.// . Киев: Вища школа, 1982. 4. Бате К., Вилсон В. Численные методы анализа и метод конечных элементов. – Москва. 1982. 5. Сахаров А.С. Моментная схема конечных элементов (МСКЭ) с учетом жестких смещений // Сопротивление материалов и теория сооружений. – 1974. -Вып. 24. -С. 147-156. 6. В.А. Баженов, А.С. Сахаров, А.В. Гондлях, С.Л. Мельников. Нелинейные задачи механики многослойных оболочек. Киев, 1994.

Сдано в редакцию 27.04.05

Рекомендовано д.т.н., проф. Параскив Д.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ ТОНКИХ ЗАГОТОВОК ИЗ ПРИРОДНОГО КАМНЯ

Горобец И.А., Михайлов А.Н. (ДонНТУ, Донецк, Украина)

Factors which determine productivity of grinding of products from a natural stone are revealed. The estimation of influence of factors on productivity is executed. Circuits of tool systems of grinding of a stone are offered.

В настоящее время изделия из природного камня используются как престижный, долговечный и непритязательный, с точки зрения ухода, материал для облицовки фасадов сооружений. Заготовки из природного камня используются и в монументальном строительстве, а также и как художественно-прикладной материал. Особенностью процесса получения изделий из камня является не только продолжительный по времени, но и разнообразный по характеру цикл удаления значительного поверхностного слоя материала торцевым алмазным шлифованием.

Поэтому одним из актуальных вопросов изготовления изделий из природного камня является повышение производительности работ, связанных с обработкой поверхностного слоя. Наибольшую актуальность этот вопрос приобрел при обработке тонких заготовок (до 20 мм), поскольку одной из особенностей материала является его хрупкость.

Вопросы, посвященные повышению производительности алмазного шлифования хрупких материалов, анализировались в работах [1-6]. В работах [1,2,5,6] рассмотрена технология обработки природного камня, изделий из технических стекол, ситаллов и технической керамики, описаны конструктивные особенности оборудования и инструмента, используемых при обработке природного камня. Вместе с тем, в этих работах недостаточно внимания уделено исследованиям вопросов обработки тонких изделий из камня и моделированию особенностей такого процесса алмазного шлифования.

Целью статьи является определение направлений повышения производительности процессов алмазного шлифования при заданном уровне качества поверхностного слоя тонких изделий из природного камня.

Реализация цели исследований может быть достигнута путем моделирования процесса шлифования тонких изделий из природного камня. Результатом моделирования процесса алмазного шлифования будут определения рациональных режимных факторов алмазной обработки, обеспечивающих требуемую совокупность параметров качества поверхностного слоя изделия.

Для решения задачи посредством программного комплекса «ANSYS» [7] была разработана модель процесса алмазного шлифования, рис.1,2. В разработанной модели торцевого шлифования пластин природного камня учитывались напряжения и деформации, возникающие при приложении нагрузок на инструмент, рассчитываемые методом конечных элементов.

Исходными данными для моделирования процесса алмазного шлифования являются:

- режимы резания,
- давление инструмента на изделие,
- геометрические параметры заготовки из природного камня и шлифовального круга,
- материал заготовки. (В качестве примера в расчетах принят материал заготовки из янцевского гранита с пределом прочности на сжатие $\sigma_{сж} = 3380 \text{ кгс/см}^2$, широко используемый в производстве).

При моделировании процесса шлифования была создана конечно-элементная модель плоского торцевого шлифования тонких заготовок из гранита. Для этого были заданы геометрические параметры заготовки (исходя из размеров: 500X500X20, 500x500x12, 500X500X8, 500X500X6 мм) и шлифовального круга (D=160мм, площадь контакта рабочей поверхности которого эквивалента площади контакта алмазного круга с сегментными алмазными брусками), свойства материала.

В разработанной модели учтена зависимость режимов шлифования и прикладываемого давления инструмента на изделие исходя из эмпирической модели [5]:

$$P_n = \frac{t \times S_m \times D \times \sigma_{сж}^{1.82}}{3.05 \times 10^{10} \times V \times e^{-\frac{11000i}{\sigma_{сж}^{1.7}}}}$$

где P_n - нормальное удельное давление инструмента на изделие, $кгс/мм^2$; D - диаметр шлифовального круга, мм; i - число проходов (при однопроходном шлифовании $i=0$); $\sigma_{сж}$ - предел прочности при сжатии, $кгс/см^2$; V - скорость шлифования, $м/с$; S_m - минутная подача, $мм/мин$; t - глубина резания, $мм$.

При моделировании процесса алмазного шлифования были рассмотрены несколько основных стадий шлифования: черновое (с глубиной шлифования не превышающей 0,3 мм), промежуточное (с глубиной шлифования не превышающей 0,2 мм) и чистовое (с глубиной шлифования не превышающей 0,15 мм).

Выбор рациональных режимов алмазного шлифования заготовки осуществлялся с учетом наложения при моделировании процесса обработки ряда ограничений:

1) Прочность заготовки. При обработке тонких плит из природного камня (от 6 до 20 мм) возникает необходимость проверки заготовки на прочность при обработке шлифованием, поскольку реализация процесса шлифования осуществляется под давлением инструмента на заготовку. При этом площадь круга инструмента принята эквивалентной площади сегментных участков абразивного инструмента.

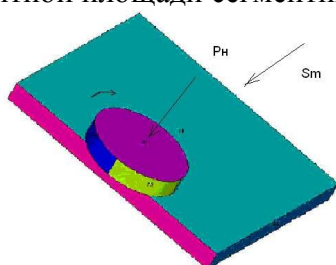


Рис.1. Схема алмазного шлифования

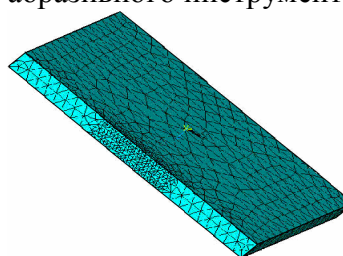


Рис.2. Схема разбивки заготовки на КЭ

2) Качество поверхности. По окончании процесса шлифования заготовки из камня поверхностный слой заготовки должен иметь характеристики, позволяющие реализовать эксплуатационные, технологические, художественные и другие свойства изделия. Под качеством поверхностного слоя при моделировании процесса шлифования рассматривалась шероховатость поверхности, которая является функцией режимов резания и определяется уравнением [5]:

$$Ra = 15 \frac{S^{0.1} \cdot P_n^{0.37}}{V^{0.3 \cdot S}},$$

где V - скорость шлифования, $м/с$; S - минутная подача, $мм/мин$.

3) Удельный расход режущего инструмента q . Для правильного выбора режимов резания при упругом шлифовании важное значение имеет знание закономерностей изнашиваемости алмазных кругов в зависимости от режимов резания и твердости камня. Обобщая экспериментальные данные, можно представить взаимосвязь удельного расхода алмаза (q , карат/ $мм^3$) от нормального давления, скорости резания, подачи в следующем виде, [5].

Для процессов алмазного шлифования гранита:

$$q = \left(-2.621 + \frac{35.63 \cdot P_n^2 + 0,038}{P_n} + \frac{0,0112 \cdot V^2 + 1.8}{V} + 15 \cdot 10^{-3} \cdot S^{0.4} \right) \cdot 10^{-6},$$

где V - скорость шлифования, м/с; P_n – давление инструмента, кгс/мм²;

4) Мощность процесса резания N определим исходя из зависимости :

$$N = \frac{P_\tau \cdot V + P_s \cdot V_s + P_n \cdot V_n}{102\eta},$$

где P_τ , P_s , P_n – составляющие усилия шлифования, соответственно, тангенциальная, подачи, нормальная; V , V_s , V_n – составляющие скорости шлифования, соответственно, тангенциальная, подачи, нормальная; η – КПД привода технологического оборудования.

Учитывая в первом приближении, что при одинаковом уровне усилий шлифования, соотношение скоростей $V_\tau \gg V_s \gg V_n$, мощность резания можно принять равной:

$$N = \frac{P_\tau \cdot V_\tau}{102\eta}.$$

При этом, согласно исследований [5],

$$P_\tau = \rho_\tau \frac{S_M \cdot D \cdot t}{6 \cdot 10^4 \cdot V},$$

где ρ_τ - удельная сила резания, кгс/мм²; V - скорость шлифования, м/с; S_M – минутная подача , мм/мин; D - диаметр шлифовального круга, мм; t – глубина резания, мм.

Величина удельной силы резания определялась исходя из эмпирической формулы, полученной экспериментально в работе [5] для случая шлифования янцевского гранита, кгс/мм²

$$\rho_\tau = \frac{0,018 \cdot F_0}{S_0 t} \left(\frac{1,31}{V} + 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot V \right) + 200.$$

5) Температура в зоне резания θ . Тепловые явления играют немаловажную роль при выборе вида режущего инструмента, условий резания и допустимых режимов резания. При моделировании процесса шлифования мгновенная температура в зоне контакта определялась зависимостью, [5]:

$$\theta_u = \frac{k \cdot f \cdot p \cdot (l \cdot v_k)^{0,5}}{(\lambda \cdot \gamma \cdot C)^{0,5}} C^\circ,$$

где k - постоянный коэффициент; f - коэффициент трения абразивного зерна по шлифуемому материалу; p - давление в точке контакта, кгс/см²; l - длина контакта, см; v_k - скорость круга, м/с; λ - коэффициент теплопроводности материала, кал/см.сек.град.; γ - плотность обрабатываемого материала, г/см³; C - удельная теплоемкость обрабатываемого материала, кал/град.

На развитие температуры в зоне контакта существенное влияние оказывают время действия мгновенного источника тепла, напряженность его теплового потока, теплопроводность и теплоемкость обрабатываемого материала, удельное давление. Для работы алмазного инструмента важное значение имеет знание предельных температур, до которых возможна безопасная работа алмаза, после чего наступает тепловой износ,

графитизация и потеря режущих свойств алмаза [5]. При моделировании процесса шлифования учитывалась зависимость, позволяющая определить температуру на отдельном зерне [8]:

$$\theta_p = 1,6 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{A}{0,35 + \lambda_u \cdot A} \cdot \frac{P_z \cdot V_k}{B \cdot l_k} \cdot \frac{x_n}{m \cdot k^{2/3}},$$

где A - функция значение которой определяется в зависимости от критерия Фурье, который в рассматриваемом случае равен

$$F_0 = 0,332 \cdot \frac{B}{V_k \cdot x_n^2}.$$

коэффициент 0,332 учитывает размерности величин V_k м/с, B - мм, x_n - мм и включает коэффициент теплопроводности алмаза 0,83 см²/с. P_z - главная составляющая силы резания, кгс; m - коэффициент, учитывающий количество активно работающих зерен ($m \approx 0,12$); $B \cdot l_k$ - размеры площадки контакта инструмента с камнем, мм²; x_n - паспортный размер зерна, мм; λ_k, λ_u - соответственно коэффициент теплопроводности камня и инструмента, причем

$$\lambda_u = 0,41 \cdot (\lambda_{св} + 0,098) \cdot K_{\%}^{0,15},$$

$\lambda_{св}$ - коэффициент теплопроводности связи, $K_{\%}$ - концентрация алмазов в инструменте, %.

При моделировании процесса шлифования заготовок из природного камня учитывался расход СОТС, в качестве которой используется вода, в пределах 6 -10 л/мин. Предельной температурой алмаза, при которой алмаз теряет свои режущие способности, принята температура, равная 400° [5].

Критерием определения рациональных режимов алмазного шлифования принята производительность процесса, которая прямо пропорциональна минутной подаче.

В результате моделирования процесса алмазного шлифования гранита были получены результаты, позволяющие оценить степень влияния принятых ограничений на процесс обработки заготовки и определить рациональные режимы обработки.

1. Прочностные параметры тонкой заготовки из гранита.

Полученные результаты напряжения заготовки в месте контакта с инструментом, зависящие от режимов резания: скорости V и подачи S , приведены в табл.1.

Для дальнейшего анализа полученных моделированием результатов проведена их обработка средствами Mathcad. При этом учтены значения предельных напряжений $[\sigma_{сж}] = 3,38$ МПа [9]. В качестве примера на рис.3 приведены результаты моделирования процесса предварительного шлифования заготовки янцевского гранита толщиной 6 мм.

Проанализировав результаты моделирования влияния напряженного состояния заготовки, с учетом достижения ею предела прочности, получены значения рациональных сочетаний параметров режимов шлифования:

1. $V=10$ м/с, $S=0,37$ м/мин;
2. $V=12$ м/с, $S=0,42$ м/мин;
3. $V=14$ м/с, $S=0,5$ м/мин;
4. $V=16$ м/с, $S=0,57$ м/мин;
5. $V=18$ м/с, $S=0,62$ м/мин;
6. $V=20$ м/с, $S=0,78$ м/мин.

Таблица 1. Напряжения сжатия σ , возникающие в гранитной плите под действием усилия прижима инструмента при различных режимах резания, Мпа

Черновое шлифование ($t=0,0003$ м)									
S \ V	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45
10	0,46	0,92	1,38	1,84	2,30	2,76	3,22	3,68	4,14
12	0,383	0,767	1,15	1,53	1,92	2,30	2,68	3,07	3,45
14	0,329	0,657	0,986	1,31	1,64	1,97	2,30	2,63	2,96
16	0,2875	0,575	0,863	1,15	1,44	1,73	2,01	2,3	2,59
18	0,256	0,511	0,767	1,02	1,28	1,53	1,79	2,04	2,30
20	0,230	0,460	0,690	0,920	1,15	1,38	1,61	1,84	2,07
Промежуточное шлифование ($t=0,0002$ м)									
S \ V	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45
10	0,307	0,613	0,920	1,23	1,53	1,84	2,15	2,45	2,76
12	0,256	0,511	0,767	1,02	1,28	1,53	1,79	2,04	2,30
14	0,219	0,438	0,657	0,876	1,10	1,31	1,53	1,75	1,97
16	0,191	0,383	0,575	0,767	0,958	1,15	1,34	1,53	1,73
18	0,170	0,341	0,511	0,682	0,852	1,02	1,19	1,36	1,53
20	0,153	0,307	0,460	0,613	0,766	0,920	1,07	1,23	1,38
Чистовое шлифование ($t=0,00015$ м)									
S \ V	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45
10	0,230	0,460	0,690	0,920	1,15	1,38	1,61	1,84	2,04
12	0,194	0,383	0,575	0,767	0,959	1,15	1,34	1,53	1,73
14	0,164	0,329	0,493	0,657	0,822	0,986	1,15	1,31	1,48
16	0,144	0,288	0,431	0,575	0,719	0,863	1,01	1,115	1,29
18	0,128	0,256	0,383	0,511	0,639	0,767	0,895	1,02	1,15
20	0,115	0,230	0,345	0,460	0,575	0,690	0,805	0,920	1,04

2. Качество поверхностного слоя шлифуемой заготовки.

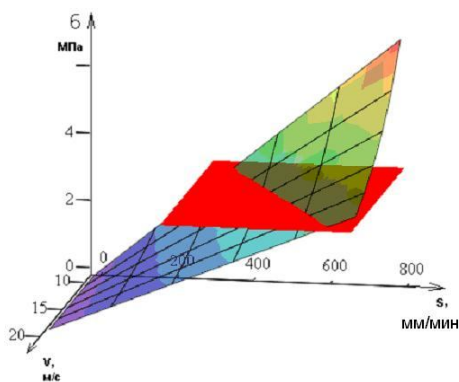


Рис.3. Зависимость напряжения сжатия (σ) от скорости (V) и подачи (S)

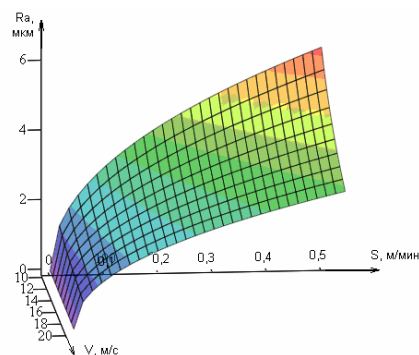


Рис.4. Зависимость шероховатости (R_a) от скорости (V) и подачи (S)

В качестве примера на рис.4 приведены результаты моделирования процесса предварительного шлифования заготовки янцевского гранита.

Анализируя графики зависимостей шероховатости поверхностного слоя от режимных параметров шлифования, можно сделать вывод о том, что при увеличении скорости шлифования шероховатость уменьшается, но с увеличением минутной подачи шероховатость поверхности растет.

3. Удельный расход алмазов при шлифовании гранитной заготовки.

В качестве примера на рис.5 приведены параметры удельного расхода алмазов, полученные в результате моделирования процесса предварительного шлифования янцевского гранита.

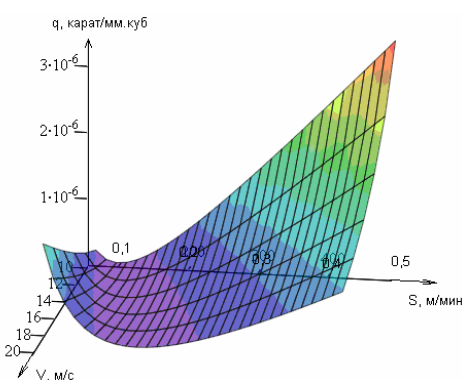


Рис.5. Зависимости удельного расхода алмаза (q) от скорости (V) и подачи (S)

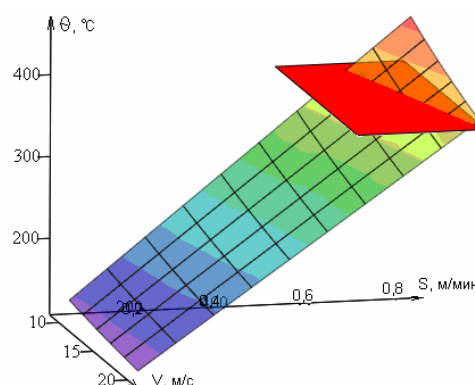


Рис.6. Зависимость температуры при алмазной обработке (θ) от скорости (V) и подачи (S)

Из полученного графика можно сделать вывод о возрастании расхода алмаза при уменьшении скорости шлифования и увеличении подачи.

4. Температура поверхностного слоя алмазов шлифовального круга.

В качестве примера на рис.6 приведены результаты моделирования процесса предварительного шлифования для янцевского гранита с учетом температурного фактора обработки.

Из графика следует, что рациональная температура шлифования достигается при таких режимах шлифования:

1. $V=10$ м/с, $S=0,63$ м/мин;
2. $V=12$ м/с, $S=0,66$ м/мин;
3. $V=14$ м/с, $S=0,71$ м/мин;
4. $V=16$ м/с, $S=0,73$ м/мин;
5. $V=18$ м/с, $S=0,76$ м/мин;
6. $V=20$ м/с, $S=0,79$ м/мин.

5. Мощность процесса алмазного шлифования заготовки из гранита

В качестве примера на рис.7 приведены результаты моделирования процесса предварительного шлифования для янцевского гранита с учетом мощности шлифования.

Из графиков видно, что с увеличением глубины снимаемого слоя и минутной подачи мощность резания растет.

Все полученные моделированием процесса алмазного шлифования тонкой заготовки из гранита ограничения выведем в одну диаграмму, которую используем для определения рациональных режимов шлифования:

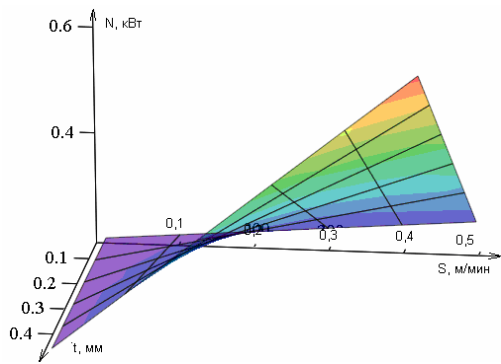
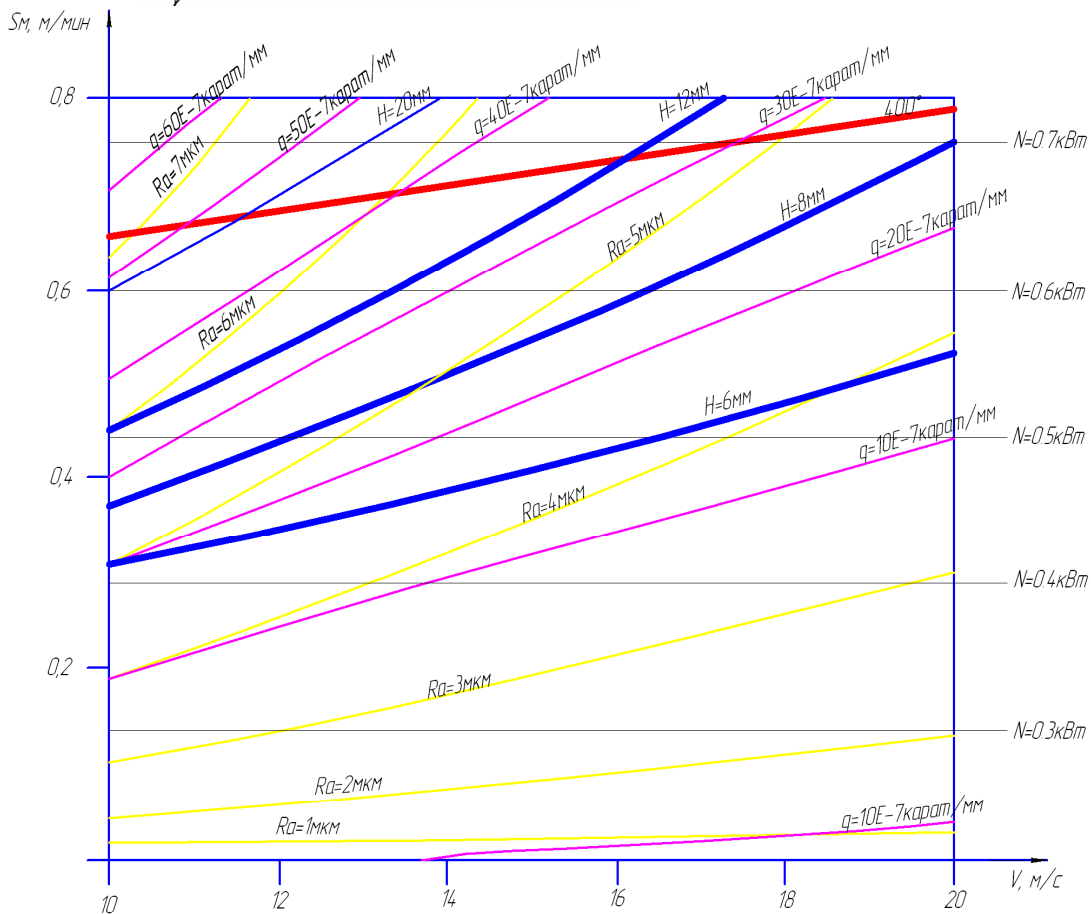


Рис.7. Зависимость мощности (N) от скорости (V) и подачи (S)



Ограничения по:

- прочности заготовки
- удельному расходу инструмента
- по шероховатости поверхности
- по мощности процесса резания
- по температуре в зоне обработки

Рис.8. Номограмма для определения рациональных параметров чистового шлифования заготовок из гранита

Для определения рациональных режимных параметров обработки разработана методика, включающая последовательность действий:

1. Учитывая ограничение по прочности обрабатываемого материала, выделяется зона рациональных режимов шлифования, которая находится ниже этой линии.
2. Учитывая ограничение по температуре в зоне обработки, выделяется зона рациональных режимов шлифования, которая находится ниже данного ограничения и предыдущего.
3. Наложив следующее ограничение - по удельному расходу алмаза, с учетом предыдущих ограничений, выделяется сократившаяся зона рациональных режимов шлифования.
4. Следующее накладываемое ограничение - по шероховатости. С учетом предыдущих ограничений выделяется еще более сократившаяся зона рациональных режимов шлифования.
5. Последнее ограничение – по мощности резания окончательно поможет сформировать зону рациональных режимов шлифования.

В качестве примера определения рациональных параметров чистового алмазного шлифования для условий обработки: шероховатость поверхности Ra не более 3мкм, мощности шлифования - 0,35 кВт, удельный расход инструмента – наименьший, производительность – максимальная, По результатам моделирования определены параметры точки рациональных режимов обработки, рис.8. Это точка с координатами $S=0,25$ м/мин; $V=17$ м/с.

Список литературы: 1. Орлов А.М. Добыча и обработка природного камня - М.: Стройиздат, 1977.- 352 с. 2. Добыча и обработка природного камня: Справочник/ Под общ. Ред. А.Г.Смирнова – М.: Недра, 1990. –445с. 3. Калафатова Л.П. Технологические основы повышения эффективности обработки и обеспечения качества изделий из технических стекол и ситалов. Автореферат на соискание ученой степени докт. техн. наук – Харьков, 2001.-37с. 4. Польшаков В.І. Теоретичні і практичні основи високопродуктивного торцевого шліфування важкооброблюваних матеріалів. – Автореферат дис. на здобуття вченого ступеня докт. техн. наук. – Київ, 1998.-33с. 5. К.С. Варданян «Современные камнеобрабатывающие станки и поточные линии» под ред. АН Арм. ССР М.В. Касьяна. Издательство «Айастан» Ереван, 1975г.- 227с. 6. Сычев Ю.И., Берлин Ю.Я «Шлифовально-полировальные и фрезерные работы по камню» М.: 1985г. 7. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах / Под общей ред. Д.Г. Красовского. – М.: КомпьютерПресс, 2002г. – 224с. 8. Цува. Исследование режущих кромок шлифовального круга. «Конструирование и технология машиностроения». Труды АОИМ, №4, 1964. 9. Носенко Н.Е., Гальперин М.И. Добыча и обработка строительного камня - М., 1956г.

Сдано в редакцию 14.05.05
Рекомендовано д.т.н., проф. Калафатова Л.П.