УДК 621.923

А.В. Байков, к-т техн. наук, доц.
Донецкий национальный технический университет, Украина
Тел. +38(062)3010805; E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОНКОМ ШЛИФОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПРИРОДНОГО КАМНЯ

Приведена методика определения кинематических и динамических параметров режимов обработки изделий из природного камня для обеспечения заданных значений параметров шероховатости поверхности, учитывающая перемещение алмазных зерен в упругом основании под действием сил резания.
Ключевые слова: *инструмент на эластичной связке, упругое перемещение алмазных зерен, шероховатость поверхности, режимы обработки*

Введение.

Одной из наиболее ответственных операций обработки изделий из природного камня является операция тонкого шлифования. Это обусловлено необходимостью удалением шероховатого и дефектного слоев, формируемых на стадии среднего шлифования, при недопустимости существенного силового воздействия на обрабатываемый материал для исключения образования глубоких царапин, которые существенно увеличат длительность последующего полирования поверхности. Появление на этапе тонкого шлифования царапины глубиной 1 мкм увеличивает продолжительность полирования до 2 раз.

В настоящее время на операциях тонкого и супертонкого шлифования все чаще применяют шлифовальный инструмент на полимерном эластичном связующем [1, 2]. Основным достоинством данного инструмента является способность режущих зерен перемещаться под действием сил резания в упругой связке. При этом нивелируется расположение вершин режущих зерен по высоте рабочей поверхности круга и снижается вероятность появления отдельных царапин на обработанной поверхности.

На качество поверхности, формируемой на операциях тонкого шлифования, преимущественно влияют зернистость шлифовального инструмента, степень эластичности его связки и режимы обработки, в частности, усилие прижима шлифовального круга к обрабатываемой поверхности

При определенных условиях шлифования хрупких неметаллических материалов, когда напряжения в зоне контакта зерна с обрабатываемым материалом не достигают предела прочности обрабатываемого материала на сжатие, процесс удаления стружки может происходить по схеме пластического разрушения [3, 4, 5]. При этом формируется царапина, геометрически идентичная сечению режущего алмазного зерна. При шлифовании это условие обеспечивается, в частности, или уменьшением радиуса округления режущей вершины алмазного зерна, или ограничением нагрузки на единичное зерно. В первом случае одним из решений является ориентирование алмазных зерен большим размером перпендикулярно рабочей поверхности инструмента. А ограничение нагрузки на единичное зерно, в случае применения эластичного шлифовального инструмента, возможно двумя путями: 1) уменьшение усилия прижима инструмента к обрабатываемой поверхности, 2) уменьшение жесткости связки, что ведет к увеличению количества контактирующих зерен и, соответственно, к уменьшению нагрузки на единичное зерно.

В связи с этим, при изучении вопроса формирования микрорельефа обработан-

ной поверхности для условий упруго-пластического деформирования материала при шлифовании инструментом на эластичной основе необходимо учитывать следующие особенности. Во-первых, вследствие перемещения алмазных зерен в связке под действием сил резания изменяется распределение вершин зерен по высоте рабочей поверхности круга, соответственно, меняются параметры эффективного профиля. Во-вторых, для обеспечения условий пластического разрушения материала, что обуславливает снижение шероховатости обработанной поверхности в сравнении с процессом хрупкого разрушения, нагружение технологической системы должно обеспечивать соответствующие усилия на наиболее выступающих зернах.

Основное содержание и результаты работы.

В реальных условиях обработки контактное взаимодействие зерен шлифовального круга с обрабатываемым материалом описывается случайными процессами. Поэтому, для аналитического описания удельных усилий на алмазном зерне при обработке эластичным инструментом с ориентированным расположением зерен, будем считать обрабатываемую поверхность считаем абсолютно ровной геометрической поверхностью.

В работе [6] было показано, что вершины ориентированно расположенных зерен в поверхностном слое алмазного круга по высоте распределены по нормальному закону.

В этом случае количество вершин в каждом интервале по высоте рабочей поверхности шлифовального инструмента будет равно:

$$N_i = N \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot \int_{n_i}^{n_{i+1}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx, \qquad (1)$$

где N – количество зерен на поверхности шлифовального круга, которая формирует микрорельеф обработанной поверхности;

$\bar{x}, \sigma$ - среднее значение и среднее квадратичное отклонение распределения зерен по высоте;

n_i и n_{i+1} - границы интервала.

При сближении поверхности инструмента и детали усилие на контактирующих зернах описывается выражением:

$$F = \frac{[g - (i-1)] \cdot \Delta}{\Omega},$$

где $g \cdot \Delta$ - величина сближения шлифовального инструмента и обрабатываемой поверхности, выраженная в интервалах условного деления поверхностного слоя круга: g - количество интервалов, Δ - ширина интервала, мм.

Ω- обобщенная податливость связки, мкм/Н.

i – номер интервала, в котором расположены данные зерна (расчет от интервала, в котором расположены наиболее выступающие зерна).

В ряде работ [4, 5, 7] при склерометрических исследованиях различных хрупких неметаллических материалов (оптическое стекло, кристаллы, мрамор) показано, что упруго-пластическая деформация данных материалов наблюдается при усилии на ин-

денторе F≤(0,15-0,3) Н в зависимости от характеристик материала. При данных условиях глубина царапины прямо пропорционально зависит от усилия на инденторе и уменьшается с увеличением микротвердости обрабатываемого материала.

Тогда величина заглубления алмазного зерна, расположенного в i -м интервале, в обрабатываемый материал будет равна:

$$h_{iy} = c \cdot \left(\frac{[g - (i-1)] \cdot \Delta}{\Omega} \right).$$

где c - коэффициент, получаемый эмпирическим путем; зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала и характеристики алмазного зерна.

Изменение положения вершины алмазного зерна, лежащего в i -м интервале относительно ненагруженного состояния будет:

$$h_i = [g - (i-1)] \cdot \Delta \cdot \left(1 - \frac{c}{\Omega}\right). \quad (2)$$

В результате происходит перераспределение расположения вершин алмазных зерен по высоте в зоне контакта с обрабатываемым материалом.

Расчеты, проведенные с использованием формул (1) и (2) показали, что величина слоя, в котором расположены вершины алмазных зерен, изменивших свое положение в зоне контакта с обрабатываемым материалом, зависит от податливости связки, а диапазон расположения вершин зерен при деформированном состоянии связки определяется микротвердостью обрабатываемого материала.

Графическая иллюстрация распределения по высоте вершин алмазных зерен для шлифовального круга зернистостью 100/80 при шлифовании изделий из мрамора при максимальном усилии на единичном зерне F=0,15 Н для различной величины податливости связки представлены на рисунке 2, а при обработке различных материалов при одинаковой податливости связки К=20 мкм/Н - на рисунке 1.

а) б)

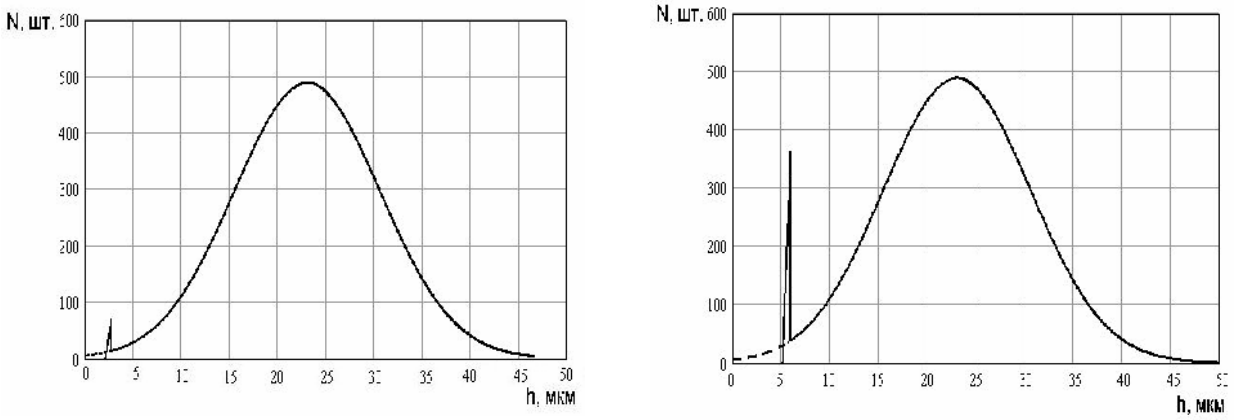

Рис. 1. Характер распределения вершин зерен в контакте с обрабатываемым материалом: а) податливость связки К=20 мкм/Н; б) податливость связки К=40 мкм/Н

На основании данных о характере распределения вершин зерен эластичного шлифовального инструмента в зоне контакта с обрабатываемым материалом и величины суммарного сечения среза на каждом рассматриваемом уровне обработанной поверхности, были проведены расчеты значения параметра R_{max} при обработке гранита капустинского месторождения и коелгинского мрамора шлифовальным инструментом различной зернистости и модулем упругости связки.

Полученные результаты показывают, что шероховатость обработанной поверхности для рассматриваемых материалов при неизменных характеристиках связки растет пропорционально увеличению зернистости шлифовального инструмента и уменьшается с увеличением микротвердости обрабатываемого материала. Рассматривая зависимость шероховатости от величины податливости связки, следует отметить скачкообразное изменение величины параметра шероховатости при определенном значении податливости связки. Данное значение податливости связки, которое можно назвать пороговым, имеет различное значение для каждого сочетания зернистости шлифовального инструмента и твердости обрабатываемого материала. Наличие такого резкого скачкообразного изменения шероховатости поверхности обусловлено тем, при больших значениях податливости суммарная ширина среза зернами, которые переместились в связке под действием сил резания, превышает базовую длину $l_б$, на которой производится измерение шероховатости. При значениях податливости связки, при которых суммарная ширина среза данными зернами меньше $l_б$, в формировании микрорельфа поверхности принимают участие и зерна, вершины которых не изменили свое положение относительно статического. Как видно из рисунка 1 плотность распределения вершин зерен в данном интервале значительно меньше, чем зерен деформированного слоя, что ведет к увеличению шероховатости поверхности.

Графическое представление зависимости шероховатости при тонком шлифовании изделий из коелгинского мрамора от модуля упругости связки представлено на рисунке2. Упругие характеристики связки шлифовального инструмента представлены на графике величиной модуля упругости.

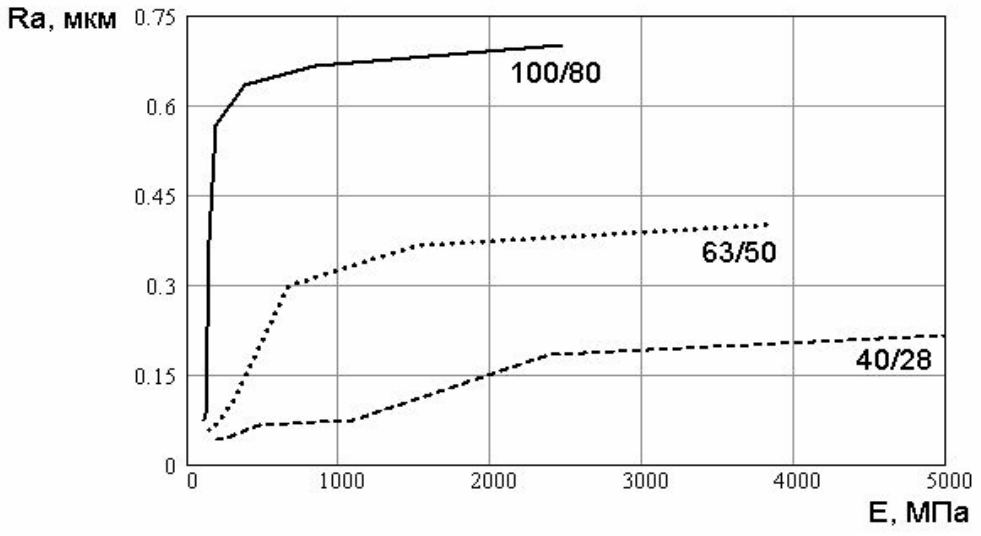

Рис. 2. Зависимость шероховатости поверхности от степени эластичности связки шлифовального инструмента различной зернистости

Анализ результатов расчета шероховатости поверхности при тонком алмазном шлифовании изделий из гранита и мрамора показал, что применение шлифовального инструмента зернистостью 100/80 обеспечивает высокое качество поверхности только при значениях податливости связки более 40 мкм/Н. Данная податливость обеспечивается очень мягкими связками и характеризующимися слабым удержанием алмазных зерен. Таким образом, шлифовальный инструмент зернистостью 100/80 практически невозможно применять на этапах тонкого алмазного шлифования изделий из природного камня. Инструмент зернистостью 63/50 обеспечивает высокое качество поверхности при податливости связки более 20 мкм/Н и шероховатость в пределах требуемой на остальном диапазоне упругости связки. Вероятно, данная зернистость является предельной для операций тонкого алмазного шлифования. Шлифовальный инструмент зернистостью 40/28 обеспечивает высокие показатели шероховатости поверхности на всем рассматриваемом диапазоне упругости связки.

Экспериментальная проверка расчетных значений шероховатости поверхности осуществлялась измерением параметров шероховатости образцов из коелгинского мрамора, обработанных эластичным шлифовальным инструментом с ориентированным расположением зерен.

Полученные результаты показывают, что расхождение теоретических и экспериментальных данных составляет не более 12% и рассчитанные данные лежат в пределах доверительного интервала экспериментальных значений.

Полученные зависимости шероховатости обработанной поверхности от модуля упругости связки инструмента позволяют управлять процессом обеспечения требуемой шероховатости поверхности изделия за счет изменения упругих свойств связки.

При уменьшении модуля упругости связки увеличивается количество алмазных зерен, принимающих участие в процессе резания и, соответственно, необходимо увеличивать усилие прижима шлифовального инструмента к обрабатываемой поверхности. Зависимость усилия прижима от модуля упругости связки, при условии, что контактное усилие на наиболее выступающих зернах не превышает 0,15 Н (условие обеспечения упруго-пластической деформации обрабатываемого материала), описывается экспоненциальной зависимостью вида:

$$F = a \cdot e^{\frac{b}{E}},$$

где a и b – коэффициенты, определяемые зернистостью шлифовального круга: для зернистости 100/80 a=11,46, b=227,4; для зернистости 63/50 a=67,1, b=412,6; для зернистости 40/28 a=20,5, b=1552,4.

Если изменение упругих характеристик связки не позволяет обеспечить требуемое значение параметра шероховатости обработанной поверхности, необходимо увеличивать количество активных режущих зерен, т.е. зерен, осуществляющих резание и непосредственно участвующих в формировании микрорельефа обработанной поверхности путем корректирования режимов резания, в частности, за счет уменьшения величины подачи заготовки или увеличения скорости резания.

В общем виде алгоритм обеспечения требуемого значения показателей шероховатости обработанной поверхности представлен на рисунке 3.

Выводы.

Таким образом, для обеспечения качества поверхности изделий из природного

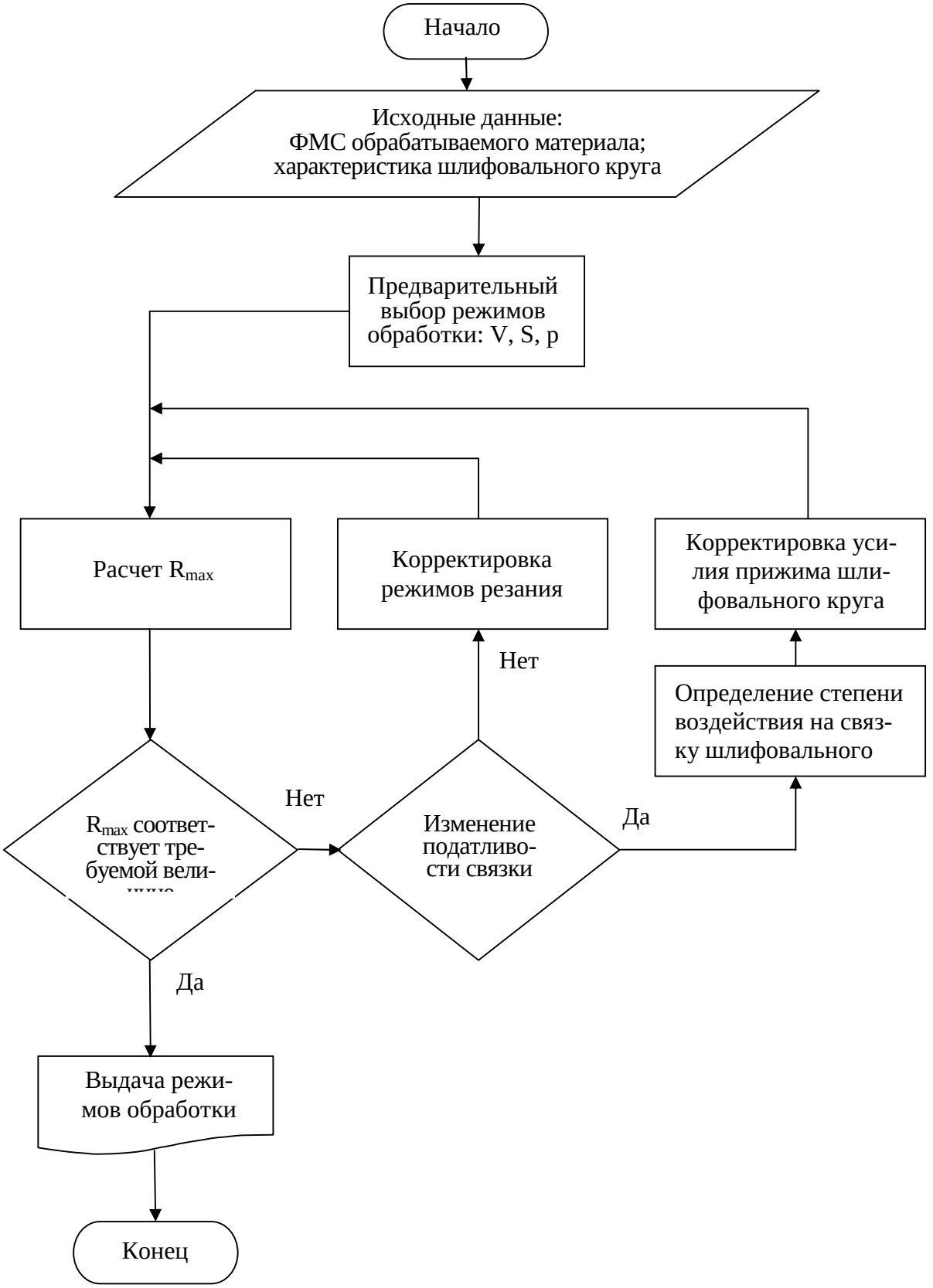

Рис. 3. Алгоритм решения задачи по обеспечению требуемой шероховатости поверхности

пользовать традиционное решение увеличения плотности микроцарапин на обработанной поверхности за счет корректирования кинематических режимов резания: уменьшения величины подачи заготовки или увеличения скорости резания.

При обработке инструментом на эластичных полимерных связках увеличение количества активных режущих зерен и уменьшение разновысотности расположения их вершин при обработке достигается обеспечением соответствия, для данной зернистости шлифовального круга, упругих характеристик связки и усилия прижима инструмента. Полученные зависимости силы прижима шлифовального инструмента, для инструмента различной зернистости, от модуля упругости связки позволяют назначать режимы обработки, обеспечивающие требуемые значения шероховатости поверхности для последующих операций полирования.

Список литературы:

1. Официальный сайт «Торгово-технический центр «ВИКТОРИЯ» алмазный инструмент для обработки камня» [Электронный ресурс]. - Режим доступа : http://www.ttc-victoriya.com.ua/productions/56/62.html.

2. Официальный сайт «Северо-западный центр алмазного инструмента». [Электронный ресурс]. - Режим доступа : http://www.diamondtools.spb.ru/diatools/index.htm.

3. Вержанский А. П. Механизм разрушения камня единичным алмазным зерном при круглом шлифовании / А. П. Вержанский, П. И. Дубинин // Технология машиностроения. - 2009. - № 12. - С. 39-40.

4. Зайфарт Х. Стружкообразование при микрорезании твердых хрупких неметаллических материалов / Х. Зайфарт, А. А. Марченко // Сверхтвердые материалы. - 1980. - № 5 - С. 55-60.

5. Танович Л. М. Специфика процесса резания мрамора PERLATO / Л. М. Танович, Л. Д. Попович // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» : Серія Машинобудування, 2010. - № 59. - С. 69-71.

6. Байков А.В., Михайлов А.Н., Феник Л.Н., Билищук К.А. Параметры рабочей поверхности эластичного шлифовального инструмента с ориентированным расположением режущих зерен // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний сб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. Вип. 41. – 373 с. – С. 33-37.

7. Сидорко В. И. Научные основы процессов финишной алмазно-абразивной обработки природного и синтетического камня : дис... доктора техн. наук : 05.03.01 / Сидорко Владимир Игоревич. - К., 2006. - 396с.

А.В. Байков

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ ПРИ ТОНКОМУ ШЛІФУВАННІ ВИРОБІВ ІЗ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ

Наведено методику визначення кінематичних і динамічних параметрів режимів обробки виробів із природного каменю для забезпечення заданих значень параметрів шорсткості поверхні, що враховує переміщення алмазних зерен у пружній основі під дією сил різання.

Ключові слова: *інструмент на еластичному зв'язуванні, пружне переміщення алмазних зерен, шорсткість поверхні, режими обробки.*

A.V. Baykov

PROVIDING OF ROUGHNESS SURFACE AT THIN POLISHING OF WARES FROM NATURAL STONE

The method of determination kinematics and dynamic parameters the modes of treatment wares from a natural stone for providing of the set values of parameters roughness surface is resulted, taking into account moving of diamond corns in resilient foundation under action of forces of cutting.

Keywords: *tools on an elastic copula, resilient moving of diamond corns, roughness of surface, modes of treatment.*

Надійшла до редколегії 17.05.2013 р.