

Figure 5 – Cutting temperature diagram by finite element modeling

3. CONCLUDING REMARKS AND FURTHER INVESTIGATION

On the linear part of tool-wear diagram, the connection between tool-wear and temperature is unique. Continuous measuring of tool-wear is complicated but temperature measuring is a good indirect way to get information about the extension of tool-wear. FEM could be a good pretest procedure but it does not substitute the real investigation. Furthermore exact data input is compulsory. During the experiments, force measuring was performed too. It did not give good results because the deviation of data was too large. We have to extend the investigation to special precision cutting circumstances and other, commonly used workpiece materials. It is also important to perform experiments besides more cutting speed levels.

4. ACKNOWLEDGEMENT

The described work was carried out as part of the TAMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 project in the framework of the New Hungarian Development Plan. The realization of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

References 1. Szabo, O.: Designing of the Working Area of Ultraprecision Machining with High-Accuracy and Surface. Quality Occupational Ergonomics. Editors: Whang Sheng and Zhang Kan. Peking, 2002. Tianjing Science and Technology Press, pp. 385-387. ISBN-7-5308-3126-7. 2. Arrazola, P. J. et al: The effect of machinability on thermal fields in orthogonal cutting of AISI 4140 steel, CIRP Annals – Manufacturing Technology, 2008, pp65-68. 3. Wanigarathne, P. C. et al: Progressive tool-wear in machining with coated grooved tools and its correlation with cutting temperature, Wear, 2005, pp1215-1224. 4. Ueda, T. et al: Temperature measurement of cutting edge in drilling, CIRP Annals, 2007, pp93-96. 5. Kodacsy, J.: Investigation on the thermal phenomena of cutting process, Academic Journal of Manufacturing Engineering, 2009, pp30-35. 6. Basti, A. et al: Tools with built-in thin film thermocouple sensors for monitoring cutting temperature, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2007, pp793-798. 7. Bacci da Silva, M – Wallbank, J.: Cutting temperature: prediction and measurement methods – a review, Journal of Materials Processing Technology, 1999, pp195-202. 8. Szabo, G.: Research of the mechanism of plastic strain in case of tempered steel in hard turning, Hungarian Journal of Industrial Chemistry, vol. 38/2, 2010, pp163-167. 9. Mamalis, A.G. – Kundrak, J. – Manolakos, D.E. et al: Thermal modeling of surface grinding using implicit finite element techniques, International Journal of Advanced Manufacturing Technology 21, 2003, pp929-934.

Поступила в редколлегию 14.04.2011

В.Г. Нечепаяв, д-р техн. наук, А.Н. Гнитко, канд. техн. наук,
М.С. Мышов, Донецк, Украина

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ПРОФИЛЬНЫХ ПАЗОВ

Виконаний аналіз складових похибки обробки профільного пазу (Т-подібний і типу «ластівчин хвіст») стосовно до завдання забезпечення заданої точності геометричних параметрів його поперечного перерізу. Аналіз дозволив зробити висновок, що похибка обробки, обумовлена повторною взаємодією профільних фрез із відділеною стружкою, становить істотну частину загальної похибки обробки профільних пазів. Усунення, або зниження похибки обробки, обумовленою повторною взаємодією профільних фрез із відділеною стружкою, є істотним резервом підвищення точності обробки профільних пазів.

Выполнен анализ составляющих погрешности обработки профильного пазу (Т-образный и типа «ласточкин хвост») применительно к задаче обеспечения заданной точности геометрических параметров его поперечного сечения. Анализ позволил сделать вывод, что погрешность обработки, обусловленная повторным взаимодействием профильных фрез с отделенной стружкой, составляет существенную часть общей погрешности обработки профильных пазов. Устранение, либо снижение погрешности обработки, обусловленной повторным взаимодействием профильных фрез с отделенной стружкой, является существенным резервом повышения точности обработки профильных пазов.

V.G. NECHEPAYEV, A.N. GNITKO, M.S. MYSHOV

STATEMENT OF THE PROBLEM OF INCREASING THE ACCURACY OF PROFILE SLOTS PROCESSING

The analysis of components of an error of processing of a profile groove (T-shaped and type «ласточкин а tail») with reference to a problem of maintenance of the set accuracy of geometrical parameters of its cross-section section is made. The analysis has allowed to draw a conclusion, that the error of the processing caused by repeated interaction of profile mills with the separated shaving, makes an essential part of the general error of processing of profile grooves. Elimination, or decrease in an error of the processing caused by repeated interaction of profile mills with the separated shaving, is an essential reserve of increase of accuracy of processing of profile grooves.

Введение. В изделиях станкостроения и общего машиностроения широкое применение находят профильные пазы с различной конфигурацией поперечного сечения. В столах станков различных типов, в плитах-спутниках, планшайбах, в конструкциях разнообразной технологической оснастки и т. д. преимущественно используются Т-образные пазы, пазы типа «ласточкин хвост» и угловые пазы.

Основной целью при проектировании и технологической подготовке производства таких изделий (также, как и производстве большинства изделий современного машиностроительного производства), является получение на этапе изготовления параметров, обеспечивающих заданные эксплуатационные свойства.

Применяемые в рассматриваемых изделиях профильные пазы, кроме закрепления деталей и приспособлений, одновременно выполняют также функ-

цию их ориентации относительно базовых элементов станка. Поэтому основным параметром, обуславливающим высокие эксплуатационные свойства изделий, является точность обработки пазов. А задача повышения качества изделий чаще всего сводится к минимизации погрешностей обработки пазов.

Трудоемкость обработки профильных пазов составляет, по выполненной оценке [1], более половины трудоемкости обработки столов обрабатывающих центров, фрезерных, сверлильных, плоскошлифовальных и других станков. Таким образом, профильные пазы составляют значительную часть общего объема металлообработки при изготовлении металлообрабатывающего оборудования и технологической оснастки.

При этом профильные пазы являются весьма нетехнологичными элементами конструкций, поскольку их конфигурация и принятая схема обработки обуславливают затрудненный отвод стружки.

Изложенное определяет актуальность задачи повышения точности профильных пазов на основе минимизации погрешностей их обработки.

Основная часть. Погрешность обработки можно рассматривать как результат нарушения заданного закона относительного движения технологических баз заготовки и рабочих поверхностей инструмента [2]. Минимизация нарушений закона относительного движения заготовки и инструмента достигается посредством статической и динамической настройки технологической системы [2].

Задачи статической и динамической настройки отличаются достижением заданного относительного положения и траектории движения рабочих поверхностей технологической системы соответственно без приложения рабочих нагрузок и при наличии рабочих нагрузок [2].

В общем случае суммарная геометрическая погрешность обработки

$$\omega = \omega_y + \omega_c + \omega_\partial, \quad (1)$$

где ω_y – погрешность установки; ω_c – погрешность статической настройки; ω_∂ – погрешность динамической настройки.

$$\omega_y = \omega_\partial + \omega_{np} + \omega_3, \quad (2)$$

где ω_∂ – погрешность базирования; ω_{np} – погрешность приспособления; ω_3 – погрешность закрепления.

$$\omega_c = \omega_{ус.пр.} + \omega_{ус.ин.} + \omega_{пров}, \quad (3)$$

где $\omega_{ус.пр.}$ – погрешность установки на станке приспособлений; $\omega_{ус.ин.}$ – погрешность перемещения и установки режущих кромок инструмента относительно выбранных координатных плоскостей; $\omega_{пров}$ – погрешность проверки точности статической настройки после фиксации требуемого положения режущего инструмента и приспособлений.

$$\omega_\partial = \omega_m + \omega_{прит} + \omega_{деф} + \omega_{виб} + \omega_{инс} + \omega_{темн} + \omega_{вн.напр.} + \omega_{раб}, \quad (4)$$

где ω_m – погрешность, возникающая из-за отклонений параметров качества

материала; $\omega_{прит}$ – погрешность, возникающая из-за отклонений припусков на обработку; $\omega_{деф}$ – погрешность, возникающая из-за деформаций системы СПИД; $\omega_{виб}$ – погрешность, возникающая из-за вибраций, возникающих при обработке; $\omega_{инс}$ – погрешность, возникающая из-за размерного износа инструмента; $\omega_{темн}$ – погрешность, возникающая из-за температурных деформаций системы СПИД; $\omega_{вн.напр}$ – погрешность, возникающая из-за деформации деталей вследствие перераспределения внутренних напряжений; $\omega_{раб}$ – погрешность, возникающая из-за влияния рабочего на качество продукции.

$$\omega_{деф} = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4, \quad (5)$$

где ω_1 – погрешность, вызванная упругими перемещениями станка; ω_2 – погрешность, вызванная упругими перемещениями детали в процессе обработки; ω_3 – погрешность, вызванная упругими перемещениями узлов, несущих инструмент; ω_4 – погрешность, вызванная упругими деформациями режущего инструмента.

Таким образом, суммарная геометрическая погрешность обработки в общем случае равна

$$\omega = \omega_\partial + \omega_{np} + \omega_3 + \omega_{ус.пр.} + \omega_{ус.ин.} + \omega_{пров} + \omega_m + \omega_{прит} + \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4 + \omega_{виб} + \omega_{инс} + \omega_{темн} + \omega_{вн.напр.} + \omega_{раб}. \quad (6)$$

Выполним анализ составляющих зависимости (6) применительно к задаче обеспечения заданной точности геометрических параметров поперечного сечения профильного паза (Т-образный и типа «ласточкин хвост»). Результаты анализа сведены в таблицу 1.

Рассмотрим наиболее распространенную схему построения технологического процесса обработки профильных пазов:

1 этап – обработка прямоугольного паза дисковой фрезой с горизонтальной осью вращения (рис. 1а);

2 этап – обработка профильного паза Т-образной фрезой (рис. 1б) или фрезой типа ласточкин хвост (рис. 1в).

1) Погрешность установки $\omega_y = 0$, поскольку при всех общепринятых схемах базирования и закрепления при обработке составляющие ω_∂ , ω_{np} и ω_3 отсутствуют. (Следует отметить, что при рассмотрении вопроса точности расположения пазов относительно базовых поверхностей стола и относительно друг друга, параллельности пазов, прямолинейности и др., значения ω_∂ , ω_{np} и ω_3 не равны нулю).

2) Погрешность статической настройки ω_c . Определяется значениями $\omega_{ус.пр}$ и $\omega_{пров}$ и проявляется в виде несимметричности расположения боковых поверхностей пазов относительно их вертикальных осей.

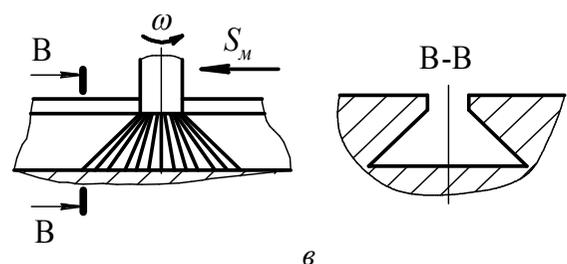
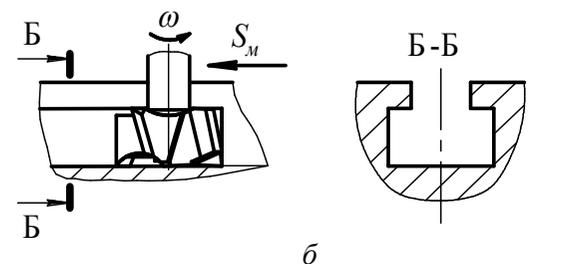
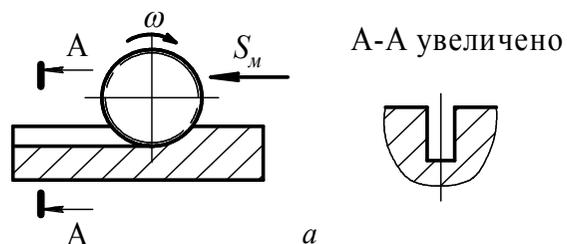


Рисунок 1 – Этапы обработки профильных пазов:

- а) дисковой фрезой прямоугольного пазов; б) профильной фрезой Т-образного пазов;
- в) профильной фрезой пазов типа «ласточкин хвост»

Значение ω_c может быть минимизировано за счет соответствующей настройки и поднастройки станка.

3) Погрешность динамической настройки ω_d . Составляющие ω_m , $\omega_{прп}$, $\omega_{виб}$, $\omega_{инс}$, $\omega_{темп}$, $\omega_{вн.напр}$. и $\omega_{раб}$ равны нулю, либо практически могут быть сведены к нулевому значению при правильной организации и подготовке технологического процесса.

Составляющие погрешности, возникающей из-за деформации системы СПИД ω_1 , ω_2 и ω_3 , также равны нулю либо практически могут быть сведены к нулевому значению при правильном подборе станочного оборудования.

Погрешность ω_4 можно представить в виде

$$\omega_4 = \omega_4^{pez} + \omega_4^{pez.cmp.},$$

где ω_4^{pez} – погрешность вследствие упругих деформаций режущего инструмента, вызванных отделением стружки на 2-м этапе обработки профильного пазов; $\omega_4^{pez.cmp.}$ – погрешность вследствие упругих деформаций режущего инструмента, вызванных повторным взаимодействием зубьев фрезы с отделенной стружкой на 2-м этапе обработки профильного пазов.

Погрешность ω_4^{pez} применительно к рассматриваемому вопросу обусловлена соответствующей ориентацией составляющих сил резания (рис. 2).

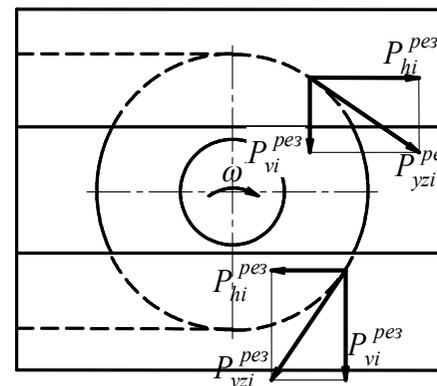
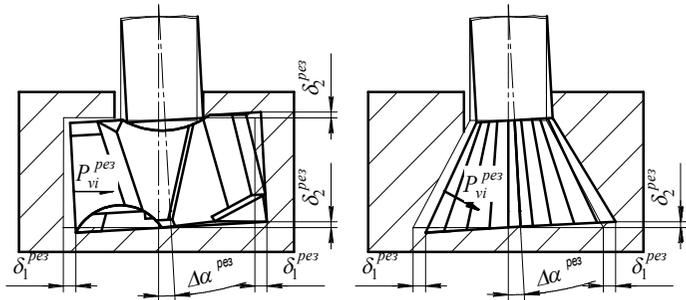


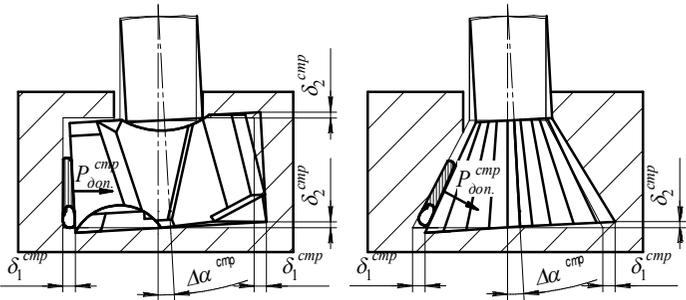
Рисунок 2 – Схема расположения составляющих сил резания

На рис. 2 показано, что вертикальные составляющие сил резания P_{vi}^{pez} направлены в одну сторону и определяют соответствующую деформацию режущего инструмента $\Delta\alpha^{pez}$, рис. 3а. Профильную фрезу (Т-образная или типа «ласточкин хвост») в данном случае можно схематизировать в виде консольной балки. При консольном закреплении упругой балки и нагружении ее поперечной силой перемещение от приложенной нагрузки имеет линейный характер. Угловая деформация оси фрезы $\Delta\alpha^{pez}$ в свою очередь вызывает систематические постоянные погрешности обработки пазов δ_1^{pez} и δ_2^{pez} (рис. 3а).

Значения указанных погрешностей практически не могут быть уменьшены без снижения режимов обработки.



а



б

Рисунок 3 – Деформация Т-образной фрезы и фрезы типа «пласточкин хвост» вследствие: а) действия вертикальной составляющей P_{vi}^{pez} силы резания; б) повторного взаимодействия с отделенной стружкой

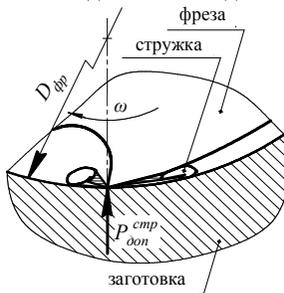


Рисунок 4 – Схема процесса повторного взаимодействия режущего инструмента с отделенной стружкой

Погрешность $\omega_4^{pez,стр.}$ обусловлена повторным взаимодействием режущего инструмента с отделенной стружкой [1]. Механизм этого явления поясняется рис. 4.

Направление вектора $P_{доп}^{стр}$ (рис. 4, рис. 3б) совпадает с направлением вектора вертикальной составляющей P_{vi}^{pez} силы резания P_{yzi}^{pez} . Поэтому

погрешность обработки, вызванная действием силы $P_{доп}^{стр}$, арифметически суммируется с погрешностью, вызванной деформацией инструмента под действием составляющей P_{vi}^{pez} , существенно усугубляя ее.

Значение силы $P_{доп}^{стр}$, согласно данным [3], составляет до 25 % от значения силы P_{vi}^{pez} . Таким образом, в первом приближении можно предположить, что деформация инструмента $\Delta\alpha^{стр}$ и погрешность обработки $\delta_1^{стр}$ и $\delta_2^{стр}$ (рис. 3б), обусловленные повторным взаимодействием стружки с инструментом, будут пропорционально увеличиваться. Погрешность обработки в этом случае имеет системный переменный характер.

Для определения значений указанных погрешностей с достаточной точностью, необходимо выполнить моделирование и анализ деформирования

Таблица 1 – К анализу общей погрешности размеров поперечного сечения профильного паза

Составляющие общей погрешности		Наличие и характер погрешнос
1	Погрешность установки, ω_y	
	1.1 Погрешность базирования, ω_b	–
	1.2 Погрешность закрепления, ω_z	–
	1.3 Погрешность приспособления, $\omega_{пр.}$	–
2	Погрешность статической настройки технологической системы, ω_c	
	2.1 Погрешность установки на столе приспособлений, $\omega_{с.пр.}$	+
	2.2 Погрешность перемещения и установки режущих кромок инструмента, $\omega_{с.ин.}$	+
	2.3 Погрешность проверки точности статической настройки после фиксации требуемого положения режущего инструмента и приспособлений, $\omega_{пров.}$	+
3	Погрешность динамической настройки технологической системы, ω_d	
	3.1 Погрешность, возникающая из-за неоднородности обрабатываемого материала, ω_m	–
	3.2 Погрешность, возникающая из-за отклонений припусков на обработку, $\omega_{прип.}$	–
	3.3 Погрешность, возникающая из-за деформаций системы СПИД $\omega_{деф.}$	
	3.3.1 Погрешность, вызванная упругими перемещениями станка, ω_1	–
	3.3.2 Погрешность, вызванная упругими перемещениями детали в процессе обработки, ω_2	–
	3.3.3 Погрешность, вызванная упругими перемещениями узлов, несущих инструмент, ω_3	+
	3.3.4 Погрешность, вызванная упругими деформациями режущего инструмента, ω_4	*
3.4 Погрешность, возникающая из-за вибраций при обработке, $\omega_{виб.}$	–	

3.5	Погрешность, возникающая из-за размерного износа инструмента, $\omega_{изс}$	–
3.6	Погрешность, возникающая из-за температурных деформаций системы СПИД, $\omega_{темт}$	–
3.7	Погрешность, возникающая из-за деформаций деталей вследствие перераспределения внутренних напряжений, $\omega_{вн.напр}$	–
3.8	Погрешность, возникающая из-за влияния рабочего на качество продукции, $\omega_{раб}$	–

«–» - погрешность отсутствует при любом варианте базирования;

«+» - погрешность может быть устранена при правильном выборе оборудования, баз и настроек инструмента;

«*» - устранение погрешности требует принятия специальных мер.

режущего инструмента вследствие повторного взаимодействия зубьев фрезы с отделенной стружкой.

Выводы.

1. Выполненный анализ позволяет сделать вывод, что погрешность обработки, обусловленная повторным взаимодействием профильных фрез с отделенной стружкой, составляет существенную часть общей погрешности обработки Т-образных и типа «ласточкин хвост» пазов.

2. Устранение, либо снижение погрешности обработки, обусловленной повторным взаимодействием профильных фрез с отделенной стружкой, является существенным резервом повышения точности обработки профильных пазов.

3. Принудительное удаление отделенной стружки, устраняющее повторное взаимодействие ее с режущим инструментом, является перспективным путем повышения точности обработки профильных пазов.

Список использованных источников: 1. Нечепаяев В.Г. Эффективность применения устройств удаления стружки при фрезеровании закрытых профильных пазов / В.Г. Нечепаяев, А.Н. Гнит'ко // Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї-наука-виробництво: матеріали с'омої Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції. Одеса: ОНПУ, 29-31 жовтня 2007 р. – Одеса, 2007. – С. 43-44. 2. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения: [учебник для вузов] / Б.М. Базров. – М.: Машиностроение, 2005. – 736 с. 3. Нечепаяев В.Г. Результаты экспериментальных исследований фрезерования профильных пазов / В.Г. Нечепаяев, А.Н. Гнит'ко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: збірник наукових праць. – Краматорськ-Київ: ДДМА, 2006. – Вип. 20. – С. 54-62.

Поступила в редколлегию 08.04.2011

Bibliography (transliterated): 1. Nechepaev V.G. Jeffectivnost' primenenija ustrojstv udalenija struzhki pri frezerovanii zakrytyh profil'nyh pazov / V.G. Nechepaev, A.N. Gnit'ko // Mashinobuduvannya Ukraїni ochima molodih: progresivni ideї- nauka-virobnictvo: materiali s'omoi vseukraїns'koi molodizhnoi naukovo-tehnichnoi konferencii. Odesa: ONPU, 29-31 zhovtnja 2007 r. – Odesa, 2007. – S. 43-44. 2. Bazrov B.M. Osnovy tehnologii mashinostroenija: [uchebnik dlja vuzov] / B.M. Bazrov. – M.: Mashinostroenie, 2005. – 736 s. 3. Nechepaev V.G. Rezul'taty jeksperimental'nyh issledovanij frezerovanija profil'nyh pazov / V.G. Nechepaev, A.N. Gnit'ko // Nadijnist' instrumentu ta optimizacija tehnologichnih sistem: zbirnik naukovih prac'. – Kramators'k-Kiiv: DDMA, 2006. – Vip. 20. – S. 54-62.

В. В. Пегловский, канд. техн. наук, В. И. Сидорко, д-р техн. наук,
В. Н. Ляхов, Киев, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ШЛИФОВАНИЯ ПРИРОДНОГО КАМНЯ ОТ МАРКИ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ В РАБОЧЕМ СЛОЕ АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА

Проведены экспериментальные исследования зависимости производительности шлифования различных видов декоративных и полудрагоценных камней от марки синтетических алмазов в рабочем слое алмазного инструмента, на основании которых выявлена общая для всех видов этих камней тенденция возрастания производительности обработки камней при увеличении номера марки синтетических алмазов в инструменте и определены количественные значения поправочных коэффициентов позволяющие учитывать эту взаимосвязь.

Проведені експериментальні дослідження залежності продуктивності шліфування різних видів декоративних та напівдорогоцінних каменів від марки синтетичних алмазів в робочому шарі алмазного інструменту, на підставі яких виявлена загальна для всіх видів цих каменів тенденція зростання продуктивності обробки каменів при збільшенні номера марки синтетичних алмазів в інструменті і визначені кількісні значення поправочних коефіцієнтів що дозволяють враховувати цей взаємозв'язок.

V. V. PEGLOVSKIJ, V. I. SIDORKO, V. N. LJAHOV
AN INVESTIGATION OF THE GRINDING PERFORMANCE NATURAL STONE FROM THE NAMES OF SYNTHETIC DIAMONDS IN THE WORKING LAYER OF DIAMOND TOOLS

Experimental researches of dependence of the productivity of polishing of different types of decorative and semiprecious stone are conducted from the brand of synthetic diamonds in the working layer of diamond instrument, on the basis of which the general is exposed for all of types of these stone tendency of growth of the productivity of treatment of stone at the increase of number of brand of synthetic diamonds in an instrument and the quantitative values of correction coefficients are certain allowing to take into account this intercommunication.

Введение. Известно, что, несмотря на широкое разнообразие видов природных декоративных и полудрагоценных камней, различающихся своим химическим составом, прочностными свойствами, производительностью обработки [1], минералогическими особенностями [2], а также трудоемкостью и энергоемкостью обработки [3, 4], большинство их видов может быть распределено по определенным группам обрабатываемости [5].

Известно также, что большинство природных камней обрабатываются (шлифуются) с применением алмазно-абразивного инструмента, причем для их обработки в большинстве случаев используются синтетические алмазы высокой прочности [6, 7].

Данная работа посвящена установлению взаимосвязи между свойствами синтетических алмазов используемых в камнеобрабатывающем инструменте и производительностью обработки природных декоративных и полудрагоценных камней [8].