

Рис. 6. Коливання стрижня (рис. 5) при круговій частоті динамічного навантаження на нього $\omega = 0.25 p_1$, де $y_{ст}(x, t)$ та $y_{дин}(x, t)$ - статичний та динамічний прогин стрижня

Подібний підхід може бути використаним при дослідженні токарної обробки довгих валів і з іншими кінцевими умовами: на пружних опорах та за наявності шарнірної опори. Наведена математична модель у вигляді функціонального ряду дозволяє виконати оцінку незатухаючих поперечних коливань довгого валу, дає можливість оцінити наявність високочастотних резонансних областей динамічної системи. Використовуючи ці моделі можна також виконати наближений аналіз коливальних процесів з дисипацією енергії.

Список літератури: 1. **Металлорежущие станки и автоматы:** Учебник для машиностроительных вузов/Под.ред. А.С. Проникова. - М. : Машиностроение, 1981. – 479 с. 2. **Сопrotивление материалов /** Под. ред. акад. Г.С. Писаренко. – Киев: Вища школа, 1983. – 672 с. 3. **Кузнецов Ю.Н. Синтез зажимных механизмов прутковых автоматов:** Дис. ... докт.техн.наук.-Киев,1983.-293с. 4. **Детали и механизмы металлорежущих станков/** Под ред. Д.Н. Решетова: в 2 т.– М. : Машиностроение, 1972. 5. **Пуш В. Э. Конструирование металлорежущих станков.-**М. : Машиностроение, 1977. 6. **Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уивер У. Колебания в инженерном деле: Пер. с англ. Л.Г. Корнейчука. –** М.: Машиностроение, 1985. – 472 с.

Сдано в редакцию 06.05.05
Рекомендовано д.т.н., проф. Суслев А.Г.

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ШЛИФОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНЫМИ КРУГАМИ-БАРАБАНАМИ

Шепелев А.А., Сороченко В.Г. (ИСМ НАНУ, г.Киев, Украина)

On the basis of conducted researches on machinability of composite materials the conditions of high efficient diamond grinding carbon-, organic- and glass-fiber materials as well as honeycomb fillers are determined. This included determining optimal characteristics of diamond drum wheels and geometrical parameters of their surface as well as determining efficient cutting modes that provide for maximum capacity and life time of the tool and high quality of processed surface.

В последние десятилетия в различных областях промышленности и техники и, прежде всего в таких ответственных, как самолето- и ракетостроение, космонавтика, судостроение, все шире используются высокопрочные и высокомодульные полимерные

композиционные материалы (ПКМ). Применение их в качестве конструкционных, термо- и электроизоляционных, декоративных материалов позволяет значительно экономить природные материалы, металлы и сплавы, снижать материалоемкость изделий и повышать их технологические и эксплуатационные свойства [1-3].

Практически все детали из ПКМ после основных методов формования подвергаются обязательной механической обработке резанием, обеспечивающей получение деталей высокой точности и требуемой формы, что вполне оправдано, особенно при небольших объемах производства, когда разработка и изготовление сложных форм оказываются экономически невыгодными. Наиболее распространенными видами обработки при выполнении механосборочных и достроечных работ в технологии самолето- и судостроения является шлифование и зачистка поверхностей конструкций из ПКМ [1, 4-5].

В производственных условиях машиностроительных цехов механическая обработка резанием ПКМ вызывает серьезные трудности: режущие и абразивные инструменты изнашиваются интенсивней, чем при обработке многих металлов, в зоне резания возникает высокая температура [6], формируется дефектный поверхностный слой у изделий [7], выделяются газообразные токсичные вещества – продукты деструкции полимерной матрицы, образуется мелкодисперсная пыль. Эти особенности необходимо учитывать не только при проектировании изделий из ПКМ, но и при разработке технологических процессов механической обработки, выборе эффективного режущего инструмента и назначении оптимальных режимов резания. Поэтому необходимо изыскивать новые, более эффективные инструментальные материалы, уменьшающие теплонапряженность процесса резания, износ и расход режущего инструмента, способствующие повышению производительности и качества обработанной поверхности изделий из ПКМ.

Одним из важнейших перспективных направлений в решении вопроса повышения эффективности процессов шлифования и зачистки изделий из ПКМ является разработка и изготовление надежных, долговечных и высокопроизводительных конструкций режущего инструмента на базе таких инструментальных материалов, как синтетические алмазы и создание на их основе прогрессивных методов механической обработки. В числе последних важное значение приобретает интенсификация процессов шлифования и зачистки изделий из ПКМ путем применения однослойных алмазно-абразивных инструментов со сплошной и прерывистой режущими кромками [8-11].

Авторами проведены исследования по определению условий эффективной алмазно-абразивной обработки – шлифования и зачистки ПКМ, заключающихся в выборе оптимальных характеристик алмазных кругов-барабанов, геометрических параметров их рабочей поверхности, установлении рациональных режимов резания, обеспечивающих максимальную производительность и срок службы инструмента, требуемое качество обработанной поверхности (отсутствие прижогов, сколов, разломачивания, расслоений и др.).

Количественно обрабатываемость ПКМ при шлифовании и зачистке алмазно-абразивными кругами – барабанами оценивали по формуле

$$U = \frac{P_z \cdot v}{B \cdot s \cdot t}$$

где U – удельная энергия шлифования, Дж/м³; P_z – касательная составляющая силы резания, Н; v – скорость главного движения резания, м/с; B – ширина шлифования, м; $S_{пр}$ – скорость продольной подачи, м/с; t – глубина резания, м.

Исследования проводили в лаборатории обработки полимерных композиционных материалов Института сверхтвердых материалов им. В.Н.Бакуля НАН Украины и в производственных условиях Киевского авиационного научно-технического комплекса имени О.К.Антонова на модернизированных быстроходных фрезерном модели 6М82ГБ и заточном модели 3В642 станках со стружкопылеотсасывающими устройствами. В необходимых случаях применяли ручные пневматические машины моделей ИП-2009А, АЗМ-2 и др., оборудованные пылеулавливающими устройствами.

Влияние режима резания (скорости главного движения резания, подачи, глубины резания) других условий обработки (ширина шлифования, диаметр алмазных кругов-барабанов, марка алмазов в круге и его зернистость, геометрические параметры рабочей поверхности инструментов, вид обрабатываемого материала) на удельную энергию шлифования устанавливали по схеме однофакторного эксперимента [12]. Для установления закономерностей изменения основных физических явлений процесса шлифования проводили также однофакторные эксперименты, результаты которых обрабатывали графически. В качестве обрабатываемых материалов использовали углепластики ЭЛУР (углеродная лента ЭЛУР-01П, связующее ЭДТ-69Н) и УОЛ (углеродная лента УОЛ-300-1К, связующее ЭДТ-69Н), стеклопластик Т10-80 (стеклоткань Т10-80, связующее 5211Б), органопластик СВМ (ткань СВМ, артикул 56334, связующее 5211Б), органостеклопластик Т42/1-76, а также сотовые наполнители типа ССП и ПСП. Выбор этих материалов обусловлен тем, что они по своим физико-механическим и теплофизическим свойствам превосходят другие волокниты, трудно поддаются механической обработке резанием, широко применяются в несущих элементах конструкций летательных аппаратов. Полимерная основа у исследуемых ПКМ – термореактивная смола. В углепластике 57-63 % связующего, в стеклопластике 20-67 %, в органопластике 40-44%, сотовых наполнителях 30-50 %.

При проведении опытов применяли однослойные алмазно-абразивные круги (рис.1) и барабаны (рис.2) со сплошной и прерывистой рабочей поверхностью, основные конструктивные и геометрические параметры рабочей поверхности которых приведены в табл.1.

Таблица 1 - Геометрические и конструктивные параметры алмазно-абразивных кругов-барабанов

| Размеры в мм | | | n ₁ | n ₂ |
|--------------|--------|-----|----------------|----------------|
| D | d | L | | |
| 60 | 20 | 20 | - | - |
| 60 | 20 | 20 | 32 | 25 |
| 60 | 20 | 20 | 75 | 65 |
| 60 | 12 | 70 | 75 | 65 |
| 80 | 20(32) | 100 | 32 | 25 |
| 165 | 50 | 640 | 40 | 44 |
| 200 | 60 | 640 | 44 | 54 |

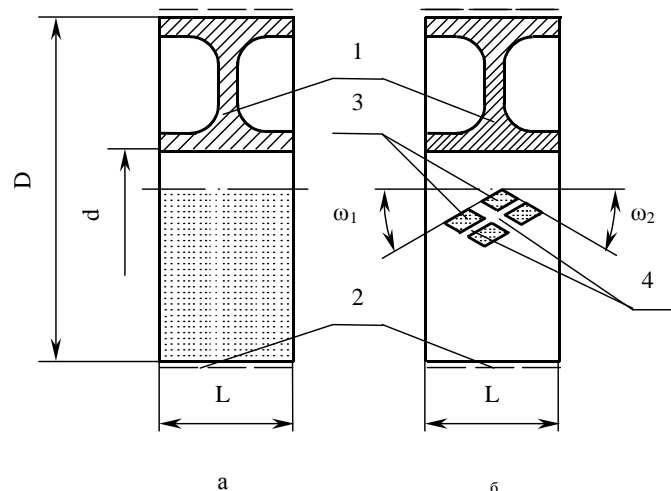


Рис.1. Конструкции однослойного алмазно-абразивного круга со сплошной (а) и прерывистой (б) рабочей поверхностью: 1 – корпус; 2 – алмазодержащий слой; 3 – алмазно-абразивные рабочие элементы; 4 – винтовые канавки левого (n_1) и правого (n_2) направлений

На наружной рабочей поверхности алмазных кругов и барабанов гальваническим методом закреплен алмазодержащий слой, для изготовления которого применяются шлифовальные порошки синтетических алмазов марок АС15-Н, АС32-Н по ТУ 2-037-344-85 и марок АС15, АС20 и АС32 зернистостью 200/160 – 500/400 по ДСТУ 3292-95 [1,8].

Алмазно-абразивные круги-барабаны для шлифования ПКМ представляют собой жесткое тело вращения облегченной конструкции, состоящее из стального незакаленного цилиндрического корпуса диаметром D и шириной L . Рабочая поверхность алмазных кругов и барабанов с прерывистой рабочей поверхностью представляет собой совокупность алмазно-абразивных элементов, образованных пересекающимися между собой винтовыми канавками левого (n_1) и правого (n_2) направлений, выполненными под углами ω_1 и ω_2 к геометрической оси инструмента и равными 30-40 градусам. Для обеспечения равномерного распределения нагрузки на рабочие элементы круга в процессе шлифования разность винтовых канавок левого и правого направлений варьируется в пределах от 1 до 10.

Условия проведения опытов: диаметр алмазного круга 60 мм, ширина шлифования 20 мм, диаметр посадочного отверстия 20 мм. Геометрические параметры рабочей поверхности кругов приняты следующие: вариант I – алмазный круг со сплошной режущей кромкой (АКС), вариант II – круг с прерывистой режущей кромкой (АКП1) – количество винтовых канавок левого и правого направлений принято равным, соответственно, 32 и 25; вариант III – круг с прерывистой режущей кромкой (АКП2) с соотношением винтовых канавок 75 и 65. Марка алмазов – АС20, зернистость основных алмазов 315/250, сравниваемых – 200/160 и 500/400. Связка – Э1 (никелево-гальваническая). Скорость резания изменяли от 30 до 40 м/с (30, 36 и 40), подачу варьировали от 0,05 до 0,30 м/с (0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25 и 0,30). Глубину резания – от 0,5 до 3,0 мм. Шлифование выполняли без применения охлаждающих технологических сред.

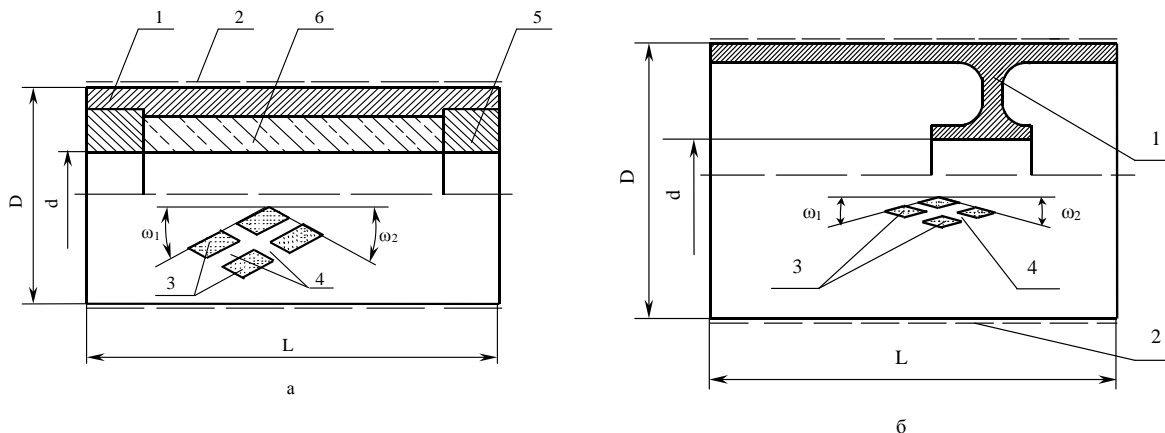


Рис.2. Конструкции однослойных алмазно-абразивных кругов-барабанов с прерывистой рабочей поверхностью: а – для шлифования плоских поверхностей ПКМ шириной до 640 мм; б – для шлифования плоских и боковых поверхностей ПКМ шириной до 100 мм. 1 – корпус; 2 – алмазодержащий слой ; 3 – алмазно-абразивные рабочие элементы; 4 – винтовые канавки левого (n_1) и правого (n_2) направлений; 5 – фланец; 6 – пенополистирол

Касательную составляющую силы резания измеряли двухкомпонентным динамометром [12], эффективную мощность резания – ваттметром НЗ48 и двумя трансформаторами тока И 54. Шероховатость обработанной поверхности ПКМ определяли визуально путем сравнения с эталонными образцами. В необходимых случаях шероховатость обработанной поверхности определяли оптическими приборами. Измерение высоты неровностей профиля (по десяти точкам в пределах базовой длины 8 мм) определяли на микроскопе МИС-11 ($R_z \leq 60$ мкм) и приборе ТСП-4 ($R_z \leq 60 \dots 1600$ мкм). Погрешность измерения определялась точностью микроскопов.

Влияние режима резания, геометрических параметров рабочей поверхности кругов диаметром 60 мм, оснащенных синтетическими алмазами АС20 315/250 – Э1 на удельную энергию шлифования приведены на рис.3 и 4, а также в табл.2.

Как видно, с увеличением продольной подачи в диапазоне от 0,01 до 0,30 м/с удельная энергия шлифования уменьшается, причем интенсивность изменения ее различна для рассматриваемого диапазона варьируемых подач. Для алмазного круга АКП2 (вариант Ш) с прерывистой рабочей поверхностью при шлифовании сотовых наполнителей типа ССП и ПСП средние значения удельной энергии шлифования при подачах до 0,10 м/с варьируется от $(9,5 \dots 3,7) \cdot 10^{-2}$ Н·м/мм³, при подачах до 0,30 м/с - $(3,7 \dots 3,0) \cdot 10^{-2}$ Н·м/мм³. Такая же закономерность изменения удельной энергии шлифования в зависимости от подачи наблюдается также при шлифовании угле- и стеклопластиков. Плавное же изменение удельной энергии шлифования при обработке органопластиков свидетельствует о высокой напряженности процесса их обработки. При этом значения подачи в пределах 0,15...0,20 м/с является критическими, переход через которые приводит к увеличению удельной энергии шлифования. Это связано с тем, что с ростом подачи увеличивается объем материала, снимаемого в единицу времени. При этом объем зазора в контакте инструмент-деталь оказывается меньше объема сошлифованного материала, что существенно влияет на интенсивность напряженности процесса шлифования: возрастает работа резания и трения,

интенсифицируются механохимические превращения в полимерной матрице обрабатываемого материала.

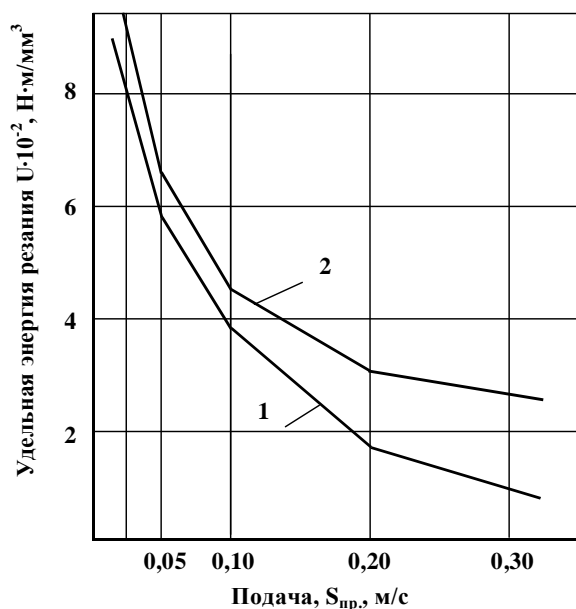


Рис.3. Влияние продольной подачи на удельную энергию резания при шлифовании сотовых заполнителей алмазными кругами с прерывистой режущей кромкой типа АКП2 О60 АС20 315/250 – Э1: 1 – сотовый наполнитель ССП ($a = 2,5$ мм); 2 – сотовый наполнитель ПСП ($a = 2,5$ мм)

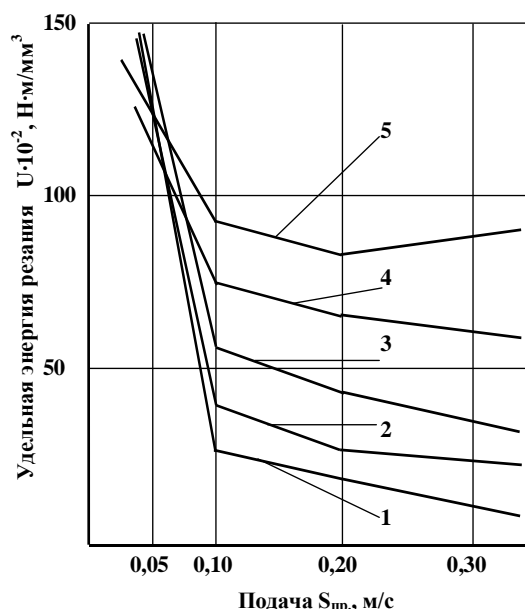


Рис.4. Влияние продольной подачи на удельную энергию резания при шлифовании угле-, органо- и стеклопластиков алмазными кругами с прерывистой режущей кромкой типа АКП1 О60 АС20 315/250 – Э1: 1 – углепластик типа ЭЛУР; 2 – углепластик типа УОЛ; 3 – стеклопластик типа Т10-80; 4 – органостеклопластик типа Т42/1-76; 5 – органопластик типа СВМ

Анализ данных, полученных из графических зависимостей показывает, что интенсивность снижения удельной энергии шлифования сотовых заполнителей, угле- и стеклопластиков при увеличении продольной подачи следующая: при подачах до 0,10 м/с – 2,5...3,2 раза; при подачах до 0,30 м/с – 1,2...1,4 раза. Отсюда, для практики шлифования ПКМ следует важный вывод о том, что в производственных условиях необходимо стремиться к работе с максимально возможными значениями подачи, которые допустимы технологическими требованиями, предъявляемыми к качеству обработанных поверхностей изделий из ПКМ.

В табл.2 приведены средние значения удельной энергии шлифования ПКМ алмазно-абразивными кругами типа АКС, АКП1 и АКП2, оснащенных синтетическими алмазами АС20 200/160, АС20 315/250 и АС32 500/400 при средних режимах резания: скорость резания 36 м/с, подача 0,10 м/с; глубина резания 0,5 мм. Как видно, удельная энергия изменяется в зависимости от вида обрабатываемого материала.

Таблица 2 - Средние значения удельной работы резания при шлифовании ПКМ алмазными кругами со сплошной и прерывистой режущими кромками

| Обрабатываемый материал | Марка и зернистость алмазного порошка | Удельная энергия шлифования $U \cdot 10^{-2}$, Н·м/мм ³ | | |
|-------------------------|---------------------------------------|---|-------------------|--------------------|
| | | АКС (вариант 1) | АКП1 (вариант 11) | АКП2 (вариант III) |
| ССП (a=2,5 мм) | АС20 200/160 | 7,9 | 7,5 | 6,7 |
| ПСП (a=2,5 мм) | | 8,5 | 8,0 | 7,0 |
| ЭЛУР | | 54,9 | 41,6 | 50,3 |
| УОЛ | | 70,7 | 52,0 | 67,1 |
| Т10-80 | | 93,7 | 72,1 | 86,5 |
| Т42/1-76 | | 111,1 | 90,3 | 108,1 |
| СВМ | | 164,7 | 122,0 | 145,2 |
| ССП (a=2,5 мм) | АС20 315/250 | 4,4 | 4,2 | 3,7 |
| ПСП (a=2,5 мм) | | 4,9 | 4,8 | 4,1 |
| ЭЛУР | | 43,5 | 32,2 | 38,6 |
| УОЛ | | 54,0 | 40,0 | 47,6 |
| Т10-80 | | 71,8 | 55,2 | 65,7 |
| Т42/1-76 | | 92,9 | 69,4 | 82,6 |
| СВМ | | 118,3 | 91,7 | 110,0 |
| ССП (a=2,5 мм) | АС32 500/400 | 2,6 | 2,5 | 2,1 |
| ПСП (a=2,5 мм) | | 3,1 | 2,9 | 2,5 |
| ЭЛУР | | 30,1 | 21,5 | 25,1 |
| УОЛ | | 36,9 | 26,8 | 32,7 |
| Т10-80 | | 49,4 | 36,6 | 44,3 |
| Т42/1-76 | | 61,9 | 45,9 | 54,6 |
| СВМ | | 65,3 | 70,5 | 85,3 |

Наилучшей обрабатываемостью (величина обратная удельной энергии шлифования) при алмазном шлифовании ПКМ обладают сотовые наполнители типа ССП и ПСП – 24,4 – 27,1 мм³/(Н·м), самой низкой – органопластики и другие материалы на основе органических волокон – 1,1-1,5 мм³/(Н·м). Если условно принять обрабатываемость стеклопластика Т10-80 за единицу, то соотношение обрабатываемости при шлифовании различных ПКМ следующее: сотовые наполнители ССП и ПСП, углепластик ЭЛУР, углепластик УОЛ, стеклопластик Т10-80, органостеклопластик Т42/1-76 и органопластик СВМ – 11,5:1,7:1,4:1,0:0,8:0,6.

Установлено, что с ростом зернистости алмазов в круге от 200/160 до 500/400 (см.табл.2) удельная энергия шлифования уменьшается. Самая высокая обрабатываемость сотовых наполнителей, угле-, органо- и стеклопластиков достигается кругами, оснащенными синтетическими алмазами АС32 500/400. При этом, для шлифования сотовых наполнителей наиболее целесообразно с точки зрения минимальных значений удельной энергии применять круги типа АКП2 (вариант III), для шлифования угле- и стеклопластиков – круги типа АКП1 (вариант 11), органо- и органостеклопластиков – АКС (вариант 1).

Варьирование скорости резания от 30 до 40 м/с при постоянной продольной подаче показало, что изменение скорости резания в указанных пределах практически не влияет на напряженность процесса шлифования. Следовательно, в производственных

условиях необходимо стремиться к назначению максимальных скоростей главного движения резания, допускаемых техническими возможностями технологического оборудования.

В табл.3 приведены данные определения влияния глубины резания различных ПКМ на эффективную мощность резания. Выявлено, что с увеличением глубины резания эффективная мощность возрастает, что необходимо учитывать при назначении рациональных режимов резания. Ширина шлифования оказывает прямо пропорциональное влияние на эффективную мощность шлифования.

Таблица 3 - Средние значения эффективной мощности резания при шлифовании ПКМ алмазными кругами

| Обрабатываемый материал | Марка и зернистость алмазов в круге | Эффективная мощность резания, кВт, при глубине резания, мм | | |
|-------------------------|-------------------------------------|--|------|------|
| | | 1,0 | 2,0 | 3,0 |
| ССП (а=2, 5 мм) | АС20 315/250 | 0,08 | 0,14 | 0,19 |
| ПСП (а=2,5 мм) | | 0,09 | 0,15 | 0,21 |
| ЭЛУР | | 0,55 | 0,96 | 1,30 |
| УОЛ | | 0,69 | 1,19 | 1,63 |
| Т10-80 | | 0,95 | 1,65 | 2,24 |
| Т42/1-76 | | 1,20 | 2,08 | 2,83 |
| СВМ | | 1,59 | 2,79 | 3,74 |

Для широкого диапазона режимов резания, геометрических параметров рабочей поверхности алмазно-абразивных кругов и характеристик их алмазодержащего слоя выявлено, что преобладающее влияние на шероховатость поверхности оказывает зернистость алмазов. Шероховатость можно снизить правильным подбором оптимального размера алмазных зерен в круге. Для обеспечения параметра шероховатости $R_z = 20-30$ мкм целесообразно применять алмазные круги АС15 (АС20, АС32) зернистостью 200/160-315/250; $R_z = 30-40$ мкм – зернистость 400/315 – 500/400. Оптимальными режимами резания при шлифовании являются скорость главного движения резания 35-40 м/с; продольная подача 0,05-0,15 м/с; глубина резания 0,5-3,0 мм.

Проведенные исследования позволяют рекомендовать следующие алмазно-абразивные круги-барабаны, оснащенные синтетическими алмазами АС15 (АС20, АС32):

-для шлифования сотовых заполнителей типа ССП и ПСП – с прерывистой режущей кромкой зернистостью 315/250-500/400; геометрические параметры рабочей поверхности: соотношение винтовых канавок левого и правого направлений 32 и 25. При этом ширина канавок левого и правого направлений должна варьироваться в пределах от 2,0 до 3,2 мм. Для получения параметра шероховатости $R_z = 20-30$ мкм – круги зернистостью 200/160 – 315/250;

-для шлифования угле- и стеклопластиков типа ЭЛУР, УОЛ, Т10-80 – с прерывистой режущей кромкой зернистостью 315/250-500/400, геометрические параметры рабочей поверхности: соотношение винтовых канавок левого и правого направлений 75 и 65; ширина канавок 0,7-1,0 мм;

-для шлифования органопластиков СВМ, органостеклопластиков Т42/1-76 и других подобных материалов – со сплошной режущей кромкой зернистостью 400/315-500/400.

Указанные рекомендации позволяют получить алмазно-абразивные круги-барабаны, срок службы которых в 21-23 раза превышает срок службы абразивных кругов и инструментов, оснащенных шлифовальными шкурками; в 8-10 раз повысить производительность обработки; улучшить качество поверхности: при $R_z = 20-40$ мкм обеспечить высокую размерную точность по толщине шлифуемых изделий (разнотолщинность $\pm 0,1$ мм), отсутствие расслоений, выкрашиваний и прижогов.

Таким образом, выполненные исследования процесса шлифования поверхностей изделий из ПКМ и полученные при этом данные позволили создать гамму однослойных алмазно-абразивных кругов-барабанов со сплошной и прерывистой рабочей поверхностью, которые по сроку службы, долговечности и надежности значительно превосходят режущие инструменты из обычных абразивов. Переход на новую технологию обработки алмазно-абразивными инструментами вместо традиционно применяемых серийно выпускаемых режущих инструментов даст возможность повысить производительность обработки ПКМ за счет увеличения срока службы инструмента и его размерной стойкости, интенсификации режима резания, улучшить качество обрабатываемых деталей и санитарно-гигиенические условия труда работающих.

Список литературы: 1. Инструменти з надтвердих матеріалів / під ред. М.В.Новікова. – Київ: ІНМ НАНУ, 2001. – С.456 – 465. 2. М'ялиця А.К., Падалко В.Г. Державна науково-технічна політика інноваційного розвитку промислового комплексу України // Технологические системы. – 2003. - № 1. – С. 5 – 10. 3. Боголюбов В.С. Перспективы развития композитного авиастроения // Технологические системы. – 1999. - № 1. – С.40 – 46. 4. Дрожжин В.И. Физические особенности и закономерности процесса резания слоистых пластмасс. – Дис...докт.техн.наук. – Харьков, 1982. – 390 с. 5. Степанов А.А. Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов. –Л.: Машиностроение, Ленингр. Отд-ние, 1987. –176 с. 6. Шепелев А.А., Сороченко В.Г., Дрожжин В.И. Температура при алмазно-абразивном разрезании полимерных композиционных материалов // Наука і освіта: Збірник наукових праць (до 40 – річчя співпраці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” та Мішкольцького університету). – Харків: НТУ”ХП”, 2004. – С.231 –242. 7. Шепелев А.А., Сороченко В.Г. Механизм образования поверхностного слоя при алмазно-абразивной обработке полимерных композиционных материалов // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2004. Вып.28. – С.202 – 205. 8. А.А.Шепелев, В.Г.Сороченко, Е.Л.Прудников. Шлифование полимерных композиционных материалов однослойными алмазными кругами и барабанами // Инструментальный світ. – 2003. - № 1(17). – С.4 – 8. 9. Шепелев А.А., Сороченко В.Г. Технология шлифования полимерных композиционных материалов алмазными шлифовальными головками // Композиционные материалы в промышленности: Материалы ХХ1У ежегодной международной конференции и выставки, 31 мая – 4 июня 2004 г., Ялта – Киев: УИЦ «НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИЯ», 2004. – С.319 – 321. 10. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учебн. Пособие / А.В.Якимов, Ф.В.Новиков, Г.В.Новиков, Б.С.Серов, А.А.Якимов. – Одесса, ОГПУ, 1999. – 450 с. 11. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технология машиностроения

/ Под общей редакцией Ф.В.Новикова и А.В.Якимова. В десяти томах. Т.4 «Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов». – Одесса: ОНПУ, 2002. – 802 с. 12.Сороченко В.Г.Процесс алмазного шлифования древесно-фенольных композиций. – Дис...канд.техн.наук. – Киев, 1986. – 278 с.

Сдано в редакцию 13.05.05
Рекомендовано д.т.н., проф. Прутяну О.

КОНТАКТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ШТАМПОВ В ФОРМЕ МНОГОУГОЛЬНИКОВ С УЧЕТОМ ШЕРОХОВАТОСТИ, ТРЕНИЯ

Шишканова А.А. (ЗНТУ, г. Запорожье, Украина)

Three-dimensional contact problem is researched in static and quasi static cases. Main equation of the problem contains integrals with weak singularity. The computational-analytical technique is developed: the system of integral equations is reduced to algebraic equation system by regularization and cubature formulae. Desingularization of the corner points is made because of the middle value choice of the desired function at each part of the integration domain. Unknown contact domain is defined by synthesis of small parameter expansion and numeric integral-differential methods. The suggested technique is acceptable for engineering practice. The normal pressure distribution under the contact domain, its shape, punch inclination, penetrations are obtained. Concrete problems are solved for simply and doubly-connected punches with rectangular, hexagon, octagon contact domains.

1. Введение. Контактное взаимодействие элементов конструкций и деталей машин всегда присутствует при эксплуатации техники. Как правило, области контакта характеризуются высоким уровнем концентрации напряжений, что часто приводит к частичному или полному разрушению элементов конструкций. Для использования современных методик расчетов на прочность необходимо детальное изучение напряженно-деформированного состояния элементов конструкций с учетом особенностей их формы и размеров, а также условий контакта. Поэтому построение решений конкретных задач механики является одним из приоритетных направлений развития современной математической теории упругости.

Анализ публикаций показывает, что математическая теория решения контактных задач развита достаточно хорошо для круговых и кольцевых областей контакта [1–5]. Однако недостаточно исследованными остаются, например, задачи с учетом реальной геометрии контактирующих тел и сил трения, что и делает актуальной данную работу. Во многих практических случаях возникает необходимость решения задач с областями контакта, содержащими угловые точки. Без учета трения и шероховатости приближенные решения для односвязных областей с угловыми точками получены в работах [4], для двусвязных - [5-7]. Рассмотрение аналогичной задачи с учетом шероховатости и трения является важным при создании различных систем в машиностроении для учета реальных свойств поверхностей контакта.

Целью данной работы является решение задачи о вдавливании в упругое полупространство односвязных и двусвязных штампов с основаниями, ограниченными прямыми линиями, т.е. область контакта содержит острые кромки и угловые точки. Задача рассматривается с учетом шероховатости поверхности упругого полупространства, а также наличием сил трения.