

## ТЕПЛООБРАЗОВАНИЕ И ТЕМПЕРАТУРА РЕЗАНИЯ ПРИ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОМ ШЛИФОВАНИИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сороченко В. Г. (ИСМ им. В. Н. Бакуля НАНУ, г. Киев, Украина)

*The basic laws of influence of the form of a working surface and the characteristic of single-layered diamond-abrasive wheels on a galvanic bond, elements of a mode of cutting and a kind of a processed material on temperature in small volumes of a zone of cutting and its distribution on depth are established at grinding of polymeric composite materials.*

**Введение.** Теплообразование, температура в зоне резания и в тонком поверхностном слое при алмазно-абразивной обработке полимерных композиционных материалов (ПКМ) оказывает решающее влияние на качество обработанной поверхности и интенсивность износа алмазосодержащего слоя инструмента. Это объясняется тем, что при резании материалов около 77...99,5 % работы переходит в тепло [1, 2]. При этом, ввиду чрезвычайно низкой теплопроводности обрабатываемого материала, склонности полимерного связующего к деструкции и незначительного времени контактирования инструмента с деталью ( $10^{-4}$ ... $10^{-6}$  с), теплота резания концентрируется в тонких поверхностных слоях контактируемых тел, изменяя их физическое состояние. При этом следует учитывать, что температура, при которой наблюдаются проявления термоокислительной деструкции полимера и наполнителя, находится в пределах 550...600 К [3].

Практически все детали, изделия и конструкции из ПКМ после основных методов формования подвергаются обязательной механической обработке резанием, составляющей 10...50 % общей трудоемкости их изготовления. Наиболее распространенным видом механической обработки резанием является шлифование [4].

Механическая обработка резанием ПКМ в производственных условиях машиностроительных цехов вызывает серьезные трудности: режущие инструменты (лезвийные и абразивные) изнашиваются интенсивней, чем при обработке многих металлов, в зоне резания имеет место высокая температура, формируется дефектный деструктированно - диспергированный поверхностный слой у изделий, выделяются газообразные токсичные вещества - продукты деструкции полимерной матрицы, образуется мелкодисперсная пыль. Эти и другие особенности обработки необходимо учитывать не только при проектировании изделий из ПКМ, но и при разработке технологических процессов механической обработки резанием, выборе рационального режущего инструмента и назначении оптимальных режимов резания. Эффективными путями снижения интенсивности выделения теплоты при резании ПКМ являются разработка новых конструктивных форм режущей поверхности инструмента, применение инструментальных материалов (алмазов и связки) с максимально возможной теплопроводностью. Наиболее полно этим условиям отвечают однослойные алмазно-абразивные круги (круги-барабаны) с функционально - ориентированной рабочей поверхностью, изготовленной методом гальваностегии [5]. Снижение теплонапряженности процесса шлифования полимерных композиционных материалов алмазно-абразивными кругами достигается за счет того, что обработка производится с определенными интервалами времени, при этом продолжительность между этими интервалами меньше времени теплового насыщения материала [6, 7]. Для обеспечения этого условия рабочая поверхность круга разбивается на ряд чередующихся выступов и

впадин, геометрические размеры которых определяются с учетом времени контакта элемента круга с деталью в пределах дуги контакта (контактный период) и временного промежутка, когда рассматриваемый элемент круга не соприкасается с деталью (неконтактный период) [8].

**Цель исследований** – установить основные закономерности влияния формы рабочей поверхности и характеристики однослойных алмазно-абразивных кругов на гальванической связке, элементов режима резания и вида обрабатываемого материала на температуру в малых объемах зоны резания и распределение ее по глубине обрабатываемого материала.

**Экспериментальное оборудование и методики проведения исследований.**

Исследования проводили в лаборатории обработки композиционных и полимерных материалов Института сверхтвёрдых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины на модернизированных быстроходном фрезерном мод. 6М82ГБ и заточном мод. 3В642 станках со стружкопылеотсасывающими устройствами.

Важнейшей предпосылкой, которая была принята нами при обосновании выбора однослойного алмазно-абразивного инструмента для шлифования ПКМ, послужила высокая теплопроводность алмазов, которая в 9 раз выше, чем у карбида кремния, и в 7 раз, чем у электрокорунда. Кроме того, сравнение физико-механических свойств карбида кремния и электрокорунда, которые широко используются в абразивном инструменте, с синтетическими алмазами показывает, что последние имеют максимальные микротвердость и модуль упругости, а следовательно, обладают значительной износостойкостью и абразивной способностью. Указанные свойства явились определяющими при выборе способа изготовления алмазного инструмента для шлифования ПКМ.

При проведении экспериментов применяли однослойные алмазно-абразивные круги (рис. 1) со следующими геометрическими параметрами их рабочей поверхности: вариант I - алмазный круг со сплошной режущей кромкой (форма 1А1); вариант II - круг с прерывистой режущей кромкой (1А1П1) – количество винтовых канавок правого и левого направлений 32 и 25 соответственно; вариант III - круг с прерывистой режущей кромкой (1А1П2) – количество винтовых канавок правого и левого направлений 75 и 65 соответственно. При выборе исследуемых функционально - ориентированных конструктивных форм рабочей поверхности кругов учитывались данные теоретических расчетов, а также особенности резания ПКМ с позиции теплонпряженности процесса обработки, износостойкости, динамики, режущей способности инструмента и технологичности его изготовления гальваническим способом [9, 10]. Алмазно-абразивные круги и круги – барабаны представляют собой жесткое тело вращения облегченной конструкции, состоящее из стального (сталь 45, 40Х) незакаленного цилиндрического корпуса диаметром  $D$ ; диаметр посадочного отверстия  $d$  и высота  $B$ . Рабочая поверхность алмазных кругов и барабанов с функционально - ориентированной рабочей поверхностью представляет собой совокупность алмазсодержащих рабочих элементов, образованных пересекающимися между собой винтовыми канавками правого ( $n_1$ ) и левого ( $n_2$ ) направлений, выполненными под углами  $\omega_1$  и  $\omega_2$  к геометрической оси инструмента и равными 30 - 40 градусов.

Равномерность распределения нагрузки на режущие элементы в процессе резания обеспечивается осевым смещением их относительно друг друга (угол  $\gamma$ , см. рис. 2) [11]. Конструктивно это достигается за счет назначения различного числа винтовых канавок правого и левого направлений. В этом случае образованные канавками рабочие элементы представляют собой параллелограммы со сторонами

различной длины. Ранее проведенными нами исследованиями [12] установлено, что при шлифовании ПКМ наиболее рационально применять круги с разностью винтовых канавок от 1 до 10.

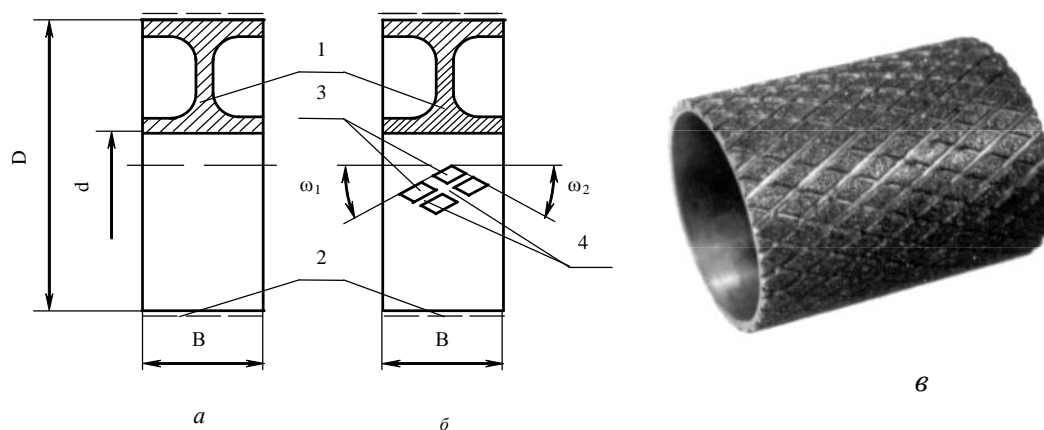


Рис.1. Конструкции однослойных алмазно-абразивных кругов и кругов-барабанов со сплошной (а) и функционально – ориентированной (б, в) рабочей поверхностью: 1 – корпус; 2 – алмазосодержащий слой; 3 – рабочие элементы; 4 – винтовые канавки;  $D$  – диаметр круга;  $B$  – высота круга;  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  - углы наклона винтовых канавок правого и левого направлений

На рис. 2 приведен фрагмент развертки однослойного алмазно-абразивного круга, наглядно иллюстрирующий определение геометрических параметров функционально - ориентированной рабочей поверхности круга, результаты расчета которых с учетом установленного количества винтовых канавок правого и левого направлений приведены в табл. 1.

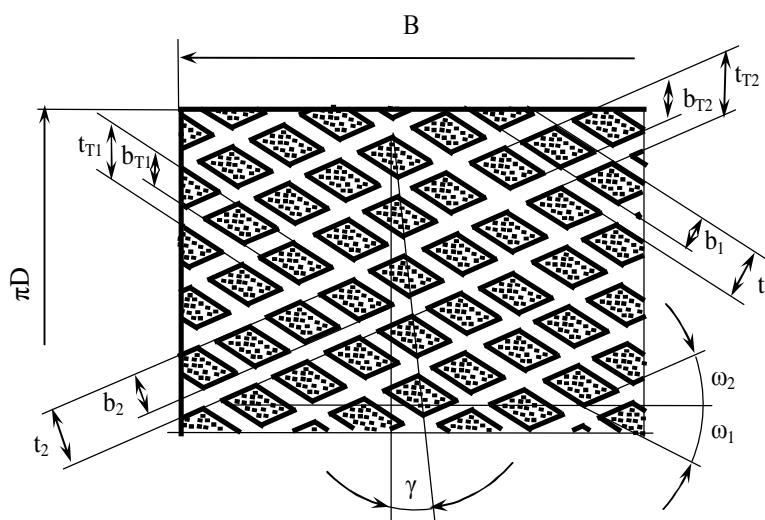


Рис. 2. Фрагмент развертки рабочей поверхности однослойного алмазно-абразивного круга:  $t_{T1}$ ,  $t_{T2}$  – окружной шаг рабочих элементов правого и левого направлений;  $t_1$ ,  $t_2$  – шаг рабочих элементов в нормальном сечении правого и левого направлений;  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  - углы наклона винтовых канавок правого и левого направлений;  $\gamma$  – угол смещения рабочих элементов;  $D$  – диаметр круга;  $B$  – высота круга

Таблица 1. Геометрические параметры режущих элементов однослойных алмазных кругов с функционально-ориентированной рабочей поверхностью

Форма круга	$\omega_1 = \omega_2$	Правая винтовая канавка					Левая винтовая канавка				
		$n_1$ , шт.	$t_{T1}$ , мм	$t_1$ , мм	$b_1$ , мм	$a_1^{*})$ , мм	$n_2$ , шт.	$t_{T1}$ , мм	$t_1$ , мм	$b_2$ , мм	$a_2^{*})$ , мм
1A1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1A1П1	$30^\circ$	32	5,9	5,1	3,1	2,0	25	7,5	6,5	3,0	3,5
1A1П2	$30^\circ$	75	2,5	2,2	1,5	0,7	65	2,9	2,5	1,5	1,0

\*) – протяженность винтовых канавок правого и левого направлений.

В качестве обрабатываемого материала использовали углепластики ЭЛУР (углеродная лента ЭЛУР-01П, связующее ЭДТ-69Н) - углепластик 1 и УОЛ (углеродная лента УОЛ-300-1К, связующее ЭДТ-69Н) - углепластик 2, стеклопластик Т10-80 (стеклоткань Т10-80, связующее 5211Б) - стеклопластик и органостеклопластик Т42/1-76 - органостеклопластик. Выбор этих материалов обусловлен тем, что они по своим физико-механическим свойствам превосходят другие волокниты, трудно поддаются механической обработке резанием, широко применяются в элементах конструкций общемашиностроительного назначения. Полимерная основа у исследуемых ПКМ - терморезактивная смола. В органостеклопластике 40-44 % связующего, в углепластике 57-63 %, стеклопластике 20-67 % [13, 14].

Особенности и пределы изменения свойств полимерных композиционных материалов, которые зависят от структуры, типа связующего, армирующего материала и наполнителей, приведены в табл. 2. Для сравнения приведены свойства некоторых металлов.

Условия проведения опытов: диаметр алмазного круга  $D = 200$  мм, высота корпуса 50 мм, диаметр посадочного отверстия 32 мм. Марка алмазов - AC32 (AC15, AC20), зернистость основных алмазов ( $d$ ) - 400/315, сравниваемых 200/160 и 630/500. Связка - Э1 (никелево-гальваническая). Скорость резания  $v$  изменяли от 25 до 40 м/с (25, 30, 35 и 40); подачу  $S$  варьировали от 3 до 12 мм/мин (3,0; 6,0; 9,0; 12,0); глубина резания  $t = 0,5 - 3,0$  мм. Шлифование выполняли без применения охлаждающих технологических сред.

Влияние режима резания (скорости резания, подачи, глубины резания) и других условий обработки (марки алмазов в круге и его зернистости, геометрических параметров алмазодержащего слоя круга, вида обрабатываемого материала) на температуру в зоне резания и в поверхностном слое устанавливали по схеме однофакторного эксперимента [12].

Выбор методов измерения температуры в зоне резания и температуры в поверхностном слое обрабатываемого материала предопределялся рядом особенностей как обрабатываемого материала, так и условиями его обработки: чрезвычайно низкой теплопроводностью ПКМ по сравнению с алмазным кругом; неэлектропроводностью обрабатываемого и инструментального (алмаза) материалов; структурными неровностями и пористостью ПКМ; образованием высокодиспергированной стружки и пыли; высокой скоростью резания. Это создает существенные трудности при измерении температуры а, следовательно, невозможность использования ряда современных стандартных методик измерения температуры.

В основу разработки регистрирующего устройства для измерения температуры в зоне резания при шлифовании ПКМ однослойными алмазными кругами положен разработанный проф. В. И. Дрожжиным и его учениками метод «двух встроенных сближенных электродов» (2ВСЭ) [13]. Сущность метода 2ВСЭ состоит в том, что при

перерезании электроизолированных друг от друга термоэлектродов горячий спай их образуется непосредственно в зоне резания (на площади среза).

Таблица 2. Особенности физико-механических и теплофизических свойств полимерных композиционных материалов, сталей и алюминия

Свойства	Полимерные композиционные материалы				Сталь 45	Алюминий
	Углепластики		Стеклопластик	Органо-стеклопластик		
	ЭЛУР	УОЛ	Т10-80	Т42/1-76		
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1480	1500	1460	1360	7850	2750
Предел прочности, МПа						
-при растяжении	1177	784	539	588	200-230	40-185
-при сжатии	784	784	441	167	62	195
-при изгибе	1471	1177	784	392	135	205
Модуль упругости, ГПа						
-при растяжении	118	118	255	29	205	70
-при сжатии	118	118	-	-		
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,70	0,47	0,39	0,14-0,17	32	209
Удельная теплоемкость, КДж/(кг·К)	0,90	1,03	1,00	1,47-1,89	0,561	0,894

Для изготовления термоэлектродов применяли хромель и алюмель, обладающие в паре достаточно высокой термо Э.Д.С. в интервале температуры от 300 до 1600 К. Между термоэлектродами наносили слой электроизоляционного лака на основе эпоксидной смолы. Холодные спаи термопары образовывали пайкой к экранированным удлиненным проводам. Наклеенные на плоские образцы обрабатываемого материала термоэлектроды сжимали при сборке винтами.

Для обеспечения малой инерционности термопар и стабильной регистрации температуры в зоне резания термоэлектроды изготавливали толщиной 0,010...0,015 мкм. Получение термоэлектродов постоянной толщины достигалось прокаткой их на специальном стане, который обеспечивал точное регулирование в радиальном направлении прокатных твердосплавных валков. Контроль толщины изготовленных термоэлектродов производили многооборотной индикаторной головкой мод. МИГ-1 непосредственно перед их наклейкой на поверхность обрабатываемого материала. На рис. 4 показана схема измерения температуры в зоне резания при шлифовании полимерных композиционных материалов однослойными алмазно-абразивными кругами. Сигнал регистрировали осциллографом модели Н115, а усиливали его с помощью усилителя постоянного тока модели Ф1510.

Измерение температуры поверхностного слоя обрабатываемого материала и распределение ее по глубине проводили подрезцовой микротермопарой ПРТП [13].

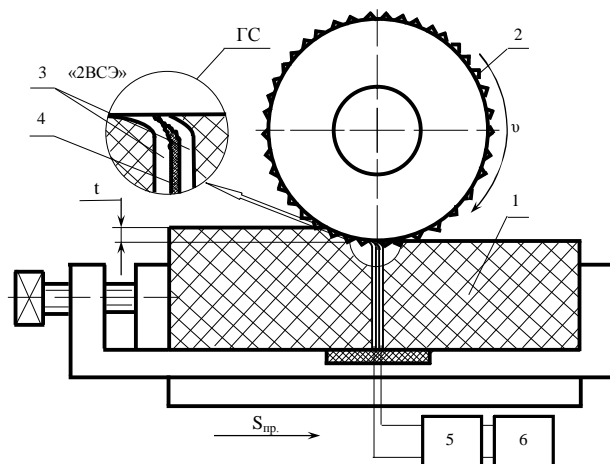


Рис. 4. Схема измерения температуры в зоне резания при шлифовании полимерных композиционных материалов однослойными алмазными кругами: 1 – обрабатываемый материал; 2 – алмазный круг; 3 – термопара «2ВСЭ»; 4 – электроизоляционный слой; 5 – усилитель; 6 – осциллограф

Сущность метода подрезцово́й термопары, схема измерения которой приведена на рис. 5, заключается в следующем. Между двумя половинками заготовок ПКМ встраивали батарею проволочных микротермопар (ТХА), соединенных с гальванометрами осциллографа Н115. По мере прохода круга над соответствующей микротермопарой ПРТП гальванометры регистрировали температуру поверхностного слоя обрабатываемых ПКМ. Для обеспечения нужного удаления горячего спая ПРТП от линии среза, термопары сначала приклеивались под микроскопом МБС-9 к полимерной пленке и затем закреплялись в ПКМ. После шлифования на инструментальном микроскопе определяли удаление горячего спая от обработанной поверхности.

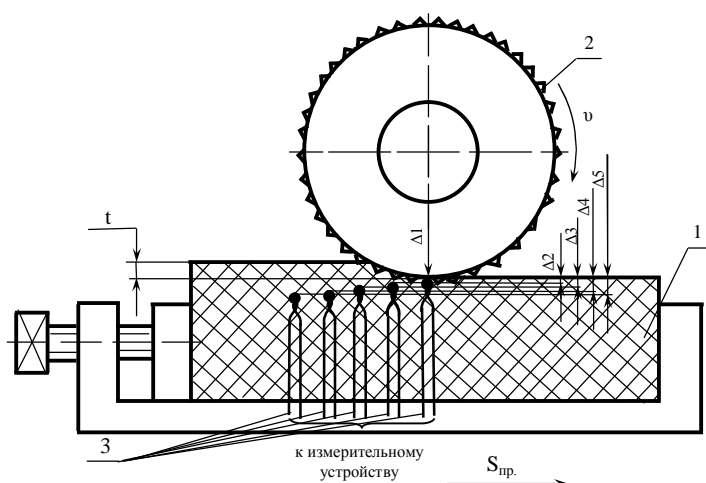


Рис. 5. Схема измерения температуры поверхностного слоя обрабатываемого полимерного композиционного материала: 1 – обрабатываемый материал; 2 – алмазный круг; 3 – батарея проволочных подрезцовых микротермопар «ПРТП»

Ступенчато расположенные относительно линии среза горячие спаи ПРТП регистрировали температурное поле поверхностного слоя ПКМ. Эксперименты проводили при шлифовании углепластика 1 и органостеклопластика кругами формы 1А1П2, зернистость алмазов АС32 400/315. Скорость резания 30 м/с, подача 9 м/мин, глубина резания 1 мм.

### Результаты исследований.

#### **1. Температура в зоне резания при шлифовании полимерных композиционных материалов.**

Обобщенные зависимости температуры в зоне резания от режима резания, характеристики круга и других условий обработки при шлифовании полимерных композиционных материалов однослойными алмазно-абразивными кругами имеют следующий вид:

- шлифование углепластиков и стеклопластика

$$\Theta_1 = C_i v^{0,26} S^{0,15} t^{0,39} d^{-0,16} D^{-0,30} \quad (1)$$

- шлифование органостеклопластика

$$\Theta_2 = C_j v^{0,39} S^{0,27} t^{0,35} d^{-0,32} D^{-0,40} \quad (2)$$

Значения коэффициентов  $C_i$  и  $C_j$  приведены в табл. 3.

Формулы (1) и (2) справедливы при скорости резания 25 - 40 м/с; подаче 3 - 12 м/мин; глубине резания 0,5 – 3,0 мм; зернистости алмаза в круге 200/160 - 630/500; диаметре круга 100-200 мм. Максимальное расхождение между значениями температуры в зоне резания, рассчитанной по приведенным формулам и экспериментальными ее значениями составляет 8-10 %, что допустимо для практических расчетов.

Таблица 3. Значения коэффициентов  $C_i$  и  $C_j$  в формулах (1) и (2)

Обрабатываемый материал	Коэффициенты $C_i$ и $C_j$		
	Форма круга		
	1А1	1А1П1	1А1П2
Углепластик 1	2716	2173	2089
Углепластик 2	2848	2278	2191
Стеклопластик	2941	2262	2178
Органостеклопластик	7744	6195	5163

Таблица 4. Температура в зоне резания при шлифовании исследуемых ПКМ

Обрабатываемый материал	Температура, К											
	Форма круга											
	1А1				1А1П1				1А1П2			
	При подаче, м/мин											
	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
Углепластик 1	603/590	673/650	714/690	745/720	484/460	537/515	571/550	596/575	466/440	517/495	549/520	572/550
Углепластик 2	635/610	706/680	749/730	781/750	508/480	564/550	598/585	624/600	489/470	542/530	576/550	600/590
Стеклопластик	653/630	729/700	773/750	806/840	504/495	560/550	594/570	620/650	486/470	539/520	572/550	597/630
Органостеклопластик	697/690	835/820	933/930	1010/990	556/545	672/670	751/740	813/800	464/430	560/540	626/610	678/660

В табл. 4 приведены значения температуры в зоне резания при шлифовании исследуемых ПКМ однослойными алмазно-абразивными кругами формы 1А1, 1А1П1 и 1А1П2 при подачах 3, 6, 9 и 12 м/мин.

Числитель - расчетное значение температуры в зоне резания.

Знаменатель - экспериментальное значение температуры в зоне резания.

Из приведенных выше формул (1) и (2), а также данных табл. 4 видно, что наибольшее влияние на температуру в зоне резания оказывают скорость резания (показатели степени 0,26 и 0,39), глубина резания (0,39 и 0,35), диаметр круга ( -0,30 и -0,40), зернистость алмаза (-0,16 и -0,32). При работе кругами формы 1А1 температура в зоне резания при шлифовании углепластиков примерно на 25 - 30 % , стеклопластика на 30 - 35 %, органостеклопластика на 25 - 50 % выше, чем кругами формы 1А1П1 и 1А1П2. Приведенные данные с одной стороны свидетельствуют о неоспоримом преимуществе применения однослойных алмазно-абразивных кругов с функционально - ориентированной рабочей поверхностью по сравнению с алмазными кругами со сплошной режущей кромкой, а с другой стороны показывают, что конструктивная форма рабочей поверхности оказывает существенное влияние на теплонапряженность процесса обработки. Так, при шлифовании органостеклопластика алмазными кругами со сплошной режущей кромкой (1А1) температура в зоне резания составляет 690...990 К, что совершенно неприемлемо по условиям обработки.

Самый низкий уровень температуры в зоне резания при шлифовании углепластика 1, углепластика 2, стеклопластика и органостеклопластика показали круги формы 1А1П2. Сравнение данных, приведенных в табл. 4 показывает, что уровень температуры в зоне резания углепластика 1, углепластика 2, стеклопластика кругами формы 1А1П2 примерно на 5...15 %, а органостеклопластика на 15...25 % ниже, чем кругами формы 1А1П1. Таким образом, применение кругов формы 1А1П2 наиболее эффективно при разрезании «гибридных» углепластиков и органостеклопластиков (с добавлением органических волокон), что позволяет суммарно снизить уровень температуры в зоне резания на 40...50 % по сравнению с применением кругов формы 1А1. По нашему мнению, такой характер влияния конструктивных форм рабочей поверхности однослойных алмазно-абразивных кругов на теплонапряженность процесса резания при шлифовании полимерных композиционных материалов связан с особыми физико-механическими и теплофизическими свойствами обрабатываемых материалов и особенностями течения физических явлений при их шлифовании. Физические свойства волокон и матрицы сильно отличаются [16, 17]. Комбинация этих свойств в совокупности с ориентацией волокон определяет рабочие характеристики армированных полимерных композитов, а также их обрабатываемость. При этом влияние материала волокон в этом отношении является доминирующим. При шлифовании рассматриваемых полимерных композиционных материалов четко наблюдалось хрупкое разрушение неорганических волокон из углерода и стекла в противоположность вязкому разрушению органического волокна. Органическое волокно легко соединяется из-за малых сил молекулярной когезии. Стекловолокно, анизотропное благодаря аморфной структуре, и углеродное волокно, состоящее из нескольких сплетенных графитовых полос, не обладают механическим скольжением, имеющее место у металлов и органического волокна. По этой причине органическое волокно хорошо противостоит изгибному напряжению, в то время как углеродное и стеклянное волокно разрушаются без пластической деформации при относительно малых нагрузках. Это приводит к различию характера стружкообразования и изменению условий размещения стружки в объеме зазора круга, что в свою очередь способствует налипанию продуктов

деструкции полимера (структурирование полимерной составляющей) на рабочую поверхность круга. Следствием этого является более высокий уровень температуры в зоне резания при шлифовании углепластика 2 и органостеклопластика в сравнении с углепластиком 1 и стеклопластиком.

Установлено, что при шлифовании ПКМ однослойными алмазно-абразивными кругами AC32 400/315 со скоростью 30 м/с и продольной подачей более 9 м/мин на обработанной поверхности образуются прижоги, что свидетельствует о окислительной деструкции поверхностного слоя ПКМ, главным образом, за счет термического действия. Это подтверждается полученными при измерении данными значениями температуры в зоне резания 510...570 К, а также нашими данными о том, что термическое разложение полимерной составляющей происходит при температуре 550...580 К [18]. Кроме того, налипшие на алмазные зерна структурированные пленки косвенно указывают на тот факт, что в зоне резания возникает высокая температура, превышающая температуру термодеструктирования обрабатываемого материала [19]. Очевидно, что температура в зоне резания, во всяком случае, не ниже этого диапазона.

## 2. Температура в поверхностном слое.

Результаты экспериментов по распределению температуры по глубине обрабатываемого материала представлены в табл. 5.

Приведенные данные показывают, что температура при удалении горячего спая на глубину 50...150 мкм резко падает практически до температуры окружающей среды. Это объясняется чрезвычайно низкой теплопроводностью ПКМ. Значительные температуры в поверхностном слое ПКМ, мы полагаем, могут приводить к концентрации теплоты резания в тонких поверхностных слоях и образованию дефектов обработки [20, 21]. При резании ПКМ их поверхностным слоем поглощается теплоты несколько больше, чем стружкой, особенно при напряженных режимах резания. То есть, при резании ПКМ имеет место так называемое “обратное направление тепловых потоков” [22].

Таблица 5. Распределение температуры по глубине образцов ПКМ

Термопары	Удаление горячего спая ПРТП, мм	Обрабатываемый материал	
		Углепластик	Органостеклопластик
		Температура $\Theta$ , К	
1	0 <sup>*)</sup>	520	610
2	0,05	440	490
3	0,10	350	380
4	0,15	300	320
5	0,20	300	300

\*) При перерезании горячего спая ПРТП

## Заключение.

Для измерения температуры и установления основных температурных закономерностей в тонких слоях зоны резания при шлифовании ПКМ токонепроводящим инструментом следует применять термопару “два встроенных сближенных электрода” (2ВСЭ). Для установления закономерностей распределения температуры в поверхностном подрезцовом слое обрабатываемого материала применять подрезцовую термопару (ПРТП). Наиболее эффективными путями снижения интенсивности выделения теплоты при шлифовании полимерных композиционных материалов являются применение инструментальных материалов (алмазов и связки) с максимально возможной теплопроводностью и назначении

оптимальных конструктивных форм функционально - ориентированных рабочих поверхностей однослойных алмазно-абразивных кругов. Таковыми являются синтетические шлифовальные порошки с развитой поверхностью марок AC32 (AC15, AC20), связка – никелево-гальваническая (Э1); применение кругов формы 1А1П1 и 1А1П2.

Однослойные алмазно-абразивные круги с функционально - ориентированной рабочей поверхностью (форма 1А1П1 и 1А1П2), изготовленные гальваническим способом обеспечивают снижение уровня температуры в зоне резания по сравнению с алмазными кругами со сплошной режущей кромкой (форма 1А1), соответственно, при шлифовании углепластиков примерно на 25 - 30 % , стеклопластиков на 30 - 35 % , органостеклопластиков на 25 - 50 % . При шлифовании «чистых» углепластиков и стеклопластиков наиболее эффективно применять круги формы 1А1П2 (1А1П1), а при шлифовании «гибридных» углепластиков и органостеклопластиков (с добавлением органических волокон) круги только формы 1А1П2. Наибольшее влияние на температуру в зоне резания оказывают скорость резания, глубина резания, диаметр круга и зернистость алмаза в круге. При этом влияние диаметра инструмента, зернистости алмаза в круге на температуру в зоне резания обратно по знаку.

Установлено, что при оптимальных режимах резания алмазными кругами формы 1А1П1 и 1А1П2 значение продольной подачи в диапазоне 8...9 м/мин при шлифовании ПКМ является критической величиной, превышение которой соответствует переходу механической деструкции полимерной составляющей к термической. При этом данная величина подачи, определяющая производительность процесса шлифования, превышает величину допустимой подачи для кругов со сплошной рабочей поверхностью формы 1А1 в 2,5...3,0 раза.

**Список литературы:** 1. Бобров В. Ф. Основы теории резания металлов. - М.: Машиностроение. - 1975. - 344 с. 2. 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 «ХПІ», 2004. – С. 231 - 242.

3. Сверхтвердые материалы. Получение и применение. Монография в 6 томах / Под общей ред. Н. В. Новикова. – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2007. Том 6: Алмазно-абразивный инструмент в технологиях механообработки / Под ред. А. А. Шепелева. – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2007. – 340 с. 4. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. Н. В. Новикова. – М.: Машиностроение, 2005. – 555 с. 5. Шепелев А. А., Сороченко В. Г., Прудников Е. Л. Шлифование полимерных композиционных материалов однослойными алмазными кругами и барабанами // Інструментальний світ, № 1(17) 2003. – С. 4 – 8.

6. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии 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. 7. Якимов А. В. Оптимизация процесса шлифования. - М.: Машиностроение. - 1975. - 176 с. 8. Шепелев А. А., Сороченко В. Г., Дуброва А. Е., Шепелев А. А. мл. Шлифовальные круги с функционально-ориентированным рабочим слоем из СТМ // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сборник научных трудов. – Вып.10. – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля. НАН Украины, 2007. – С.410 - 413.

9. Сороченко В. Г., Шепелев А. А. К вопросу о контактном взаимодействии в процессах алмазно-абразивной обработки полимерных композиционных материалов // Вестник национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Машиностроение. – К.: НТУУ «КПИ». – 2008.- 54. – С.175-184.

- 10.** Сороченко В. Г. Математическое моделирование температурных полей в инструменте и детали при алмазно-абразивной обработке полимерных композиционных материалов // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2008. Вип. 36. – С. 200 – 207.
- 11.** Родин П. Р. Основы проектирования режущих инструментов: Учебник. – К.: Выща шк., 1990. – 424 с. **12.** Сороченко В. Г. Процесс алмазного шлифования древесно - фенольных композиций. - Автореф. дисс... канд. техн. наук. - Киев, 1986. - 20 с. **13.** Дрожжин В. И. Физические особенности и закономерности процесса резания слоистых пластмасс. - Автореф. дисс... докт. техн. наук. - Киев, 1983. -39 с. **14.** Мікульонок І. О. Полімерні композитні матеріали і вироби з них. Одержання, перероблення та властивості: Термінол. слов. / І. О. Мікульонок, Л. Б. Радченко. – К.: ІВЦ, Видавництво «Політехніка», 2005. – 179 с. **15.** Пахаренко В. А., Яковлева Р. А., Пахаренко А. В. Переработка полимерных композиционных материалов. – К.: Издательская компания «Воля», 2006. – 552 с. **16.** Справочник по композиционным материалам: В 2 - х кн. Кн. 1 / Под ред. Дж. Любина; Пер. с англ. А. Б. Геллера, М. М. Гельмонта; Под ред. Б. Э. Геллера. - М.: Машиностроение, 1988. - 448 с. **17.** Справочник по композиционным материалам: В 2-х кн. Кн. 2 / Под ред. Дж. Любина; Пер. с англ. А. Б. Геллера и др.; Под ред. Б. Э. Геллера. - М.: Машиностроение, 1988. - 584 с. **18.** Шепелев А. А., Сороченко В. Г. Влияние деструкции полимера и температуры на природу износа алмазного инструмента при шлифовании полимерных композиционных материалов // Сучасні процеси механічної обробки інструментами з НТМ та якість поверхні деталей машин: Зб. наук. праць (Серія Г «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти») / НАН України. ІНМ ім. В. М. Бакуля. - Київ, 2006. – С.103-110. **19.** Шепелев А. А., Сороченко В. Г. Закономерности износа однослойных алмазно-абразивных кругов и их стойкость при механической обработке полимерных композиционных материалов // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. - Донецьк: ДонНТУ, 2005. Вип.32. – С. 258 - 267. **20.** By A. A. Shepelev, D.Sc.E. P. Poladko, Ph. D.Grzhybovskyi, V. G. Sorochenko, and A. A. Shepelev Jr. // CUTTING TOOL ENGINEERING. March 2009 / Vol.61 / Issue 3. - P. 62 – 70. **21.** Новиков Н. В., Шепелев А. А., Сороченко В.Г. Интегрированные технологии производства и применения абразивного инструмента из СТМ в механообработке // Сучасні технології в машинобудуванні [Текст] : зб. наук. праць. – С 56 Вип.1 / редкол.: А. І. Грабченко (голова) [та ін.]. – Харків: НТУ «ХПИ», 2008. – С.96 - 101. **22.** Сороченко В. Г. Высокопродуктивная алмазно-абразивная обработка полимерных композиционных материалов // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. Вип.75. – С.362 - 371.

Надійшла до редколегії 25.03.2009 р.

## **ТЕПЛООБРАЗОВАНИЕ И TEMПЕРАТУРА РЕЗАНИЯ ПРИ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОМ ШЛИФОВАНИИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Сороченко В. Г.**

У статті приділена увага питанню виявлення основних закономірностей впливу форми робочої поверхні і характеристики одношарових діамантово-абразивних кругів на гальванічній св'язці, елементів режиму різання і типу оброблюваного матеріалу на температуру в малих об'ємах зони різання і розподіл її по глибині оброблюваного матеріалу.

*теплообразование, шлифование, зона резания, геометрические параметры инструмента*