

СИЛОВЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРИ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ РАЗРЕЗКЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Шепелев А.А., Сороченко В.Г. (ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев)

The generalized power laws are established at diamond-abrasive cutting polymeric composite materials. Ways of management on decrease force of cutting for a wide range of modes of cutting, geometrical and design parameters of a working surface of the tool and other conditions of processing are shown.

Введение. Для расчета и конструирования технологического оборудования, средств малой механизации (ручные пневматические машины) и режущих инструментов, в частности оптимальных конструктивных форм, геометрических параметров и характеристики их рабочей поверхности при механической обработке резанием полимерных композиционных материалов (ПКМ), определения требуемой мощности станков и объяснения физических явлений необходимо знать величины сил, действующих на рабочие поверхности инструмента. Кроме того, сила резания является важным показателем, характеризующим не только физическую сторону процесса резания, но и оказывает существенное влияние на точность и шероховатость обработанной поверхности, износ и стойкость инструментов и другие параметры.

На основе анализа работ [1 – 8, и др.] по алмазно-абразивной резке полимерных композиционных материалов, которые выполнены в Украине, ближнем и дальнем зарубежье, а также в Институте сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины [9, 10], установлено, что круги со сплошной алмазодержащей поверхностью, изготовленные методами порошковой металлургии, интенсивнее «засаливаются» отходами обработки, чем с прерывистой, где стружка помимо межзеренных пространств может размещаться в канавках. Показано, что прерывистая рабочая поверхность кругов улучшает теплоотвод из зоны резания, а также обеспечивает благоприятные условия для размещения стружки в межзеренном пространстве и удаление ее из зоны резания. При этом повышаются режущие свойства инструмента и его стойкость. Однако имеющиеся конструкции однослойных алмазно-абразивных отрезных кругов со сплошной и прерывистой наружной режущей кромкой при проведении предварительных опытов по резанию изделий из органостеклопластика типа Т42/1-76 не дали положительных результатов ни по производительности, ни по качеству обработанной поверхности. По нашему мнению это объясняется физическим состоянием обрабатываемого материала, отличным от физического состояния ранее обрабатываемых материалов: гетинакса, текстолита, стеклопластика, резины, резинопластиковых и других полимерных материалов.

Конструктивные параметры и, в первую очередь, длина выступов и впадин, соотношения между ними оказывают существенное влияние на напряженность процесса обработки ПКМ и работоспособность инструмента. Как показали наши исследования, изменение размеров выступов и впадин существенным образом сказывается, с одной стороны, на температурно-силовых, кинематических и других параметрах, определяющих процесс резания (силы и температура резания, толщина среза, снимаемого одним зерном, коэффициент заполнения объема зазора в контакте «инструмент – деталь», а с другой стороны – на работоспособность инструмента, условиях размещения и транспортирования частиц обрабатываемого материала из зоны резания [10]. В частности, тепловые явления при резании ПКМ алмазно-абразивными кругами, оказывают решающее влияние на интенсивность износа алмазодержащего слоя инструмента и качество обработанных поверхностей изделий.

Это объясняется тем, что при резании материалов около 77 – 99, 5 % работы резания переходит в тепло [11]. При этом, в виду чрезвычайно низкой теплопроводности обрабатываемого материала и незначительного временного контактирования инструмента с деталью ($10^{-4} \dots 10^{-6}$ с), теплота резания концентрируется в тонких поверхностных слоях контактирующих тел, изменяя их физическое состояние.

С целью снижения напряженности процесса разрезания ПКМ алмазно-абразивными кругами обработку необходимо производить с определенными интервалами времени, при этом продолжительность между этими интервалами должна быть меньше времени теплового насыщения материала [12]. Для обеспечения этого условия определяли геометрические параметры кругов, конструктивные размеры поверхности инструментов (размеры рабочих элементов, расстояние между ними и др.). Таким образом, рабочая поверхность круга должна разбиваться на ряд чередующихся выступов и впадин, геометрические размеры которых должны быть определены с учетом времени контакта элемента круга с деталью в пределах дуги контакта [13] (контактный период) и временного промежутка, когда рассматриваемый элемент круга не соприкасается с деталью (неконтактный период).

Цель настоящих исследований – установить закономерности изменения силы резания в зависимости от формы рабочей поверхности и характеристик однослойных алмазно-абразивных отрезных кругов на гальванической связке, элементов режима резания, вида обрабатываемого материала и других условий обработки и предложить пути управления для снижения силы резания при алмазно-абразивном разрезании полимерных композиционных материалов.

Экспериментальное оборудование и методика проведения исследований.

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

Важнейшей предпосылкой, которая была принята нами при обосновании выбора алмазного инструмента для разрезания 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 разрезания ПКМ.

Измерение вертикальной и горизонтальной составляющих силы резания (см. рис. 1) производили с помощью двухкомпонентного динамометра [13]. Суммарную силу резания определяли по формуле 1.

На двух половинах расширенного кольца смонтированы восемь тензометрических фольговых датчиков (2ФКПА-10-100) с базой 10 мм и сопротивлением 100 Ом, которые соединены между собой в два независимых электрических полумоста. Конструкция динамометра позволяла измерять составляющие силы резания до 1000 Н. Жесткость динамометра составляла $2 \cdot 10^6$ Н / м в вертикальной плоскости и $5,2 \cdot 10^6$ Н / м в горизонтальной плоскости. Частота собственных колебаний динамометра и обрабатываемого образца составляла 450 Гц и 210 Гц в вертикальной и горизонтальной плоскостях, соответственно.

Электрические сигналы датчиков динамометра подавались через тензометрический усилитель УТ 4 - 1 на светолучевой осциллограф Н - 115, питаемый от блока питания П - 133 через стабилизатор напряжения С - 0,5.

Тензометрическая измерительная установка «динамометр - усилитель - осциллограф» тариговалась в статическом состоянии путем нагружения и разгружения динамометра контрольными грузами и образцовым динамометром ДОСМ - 1 в начале и по окончании каждой серии опытов. При проведении тарирования измерительной системы установлено, что взаимное влияние составляющих силы резания не превышало 5 - 7 %.

Обработку результатов опытов проводили в соответствии с методикой, изложенной в [13].

Число наблюдений в каждом опыте определяли желательной точностью и надежностью результатов экспериментов. При принятой нами доверительной вероятности $P = 0,95$ минимальное число наблюдений в каждом опыте равно семи [11, 13].

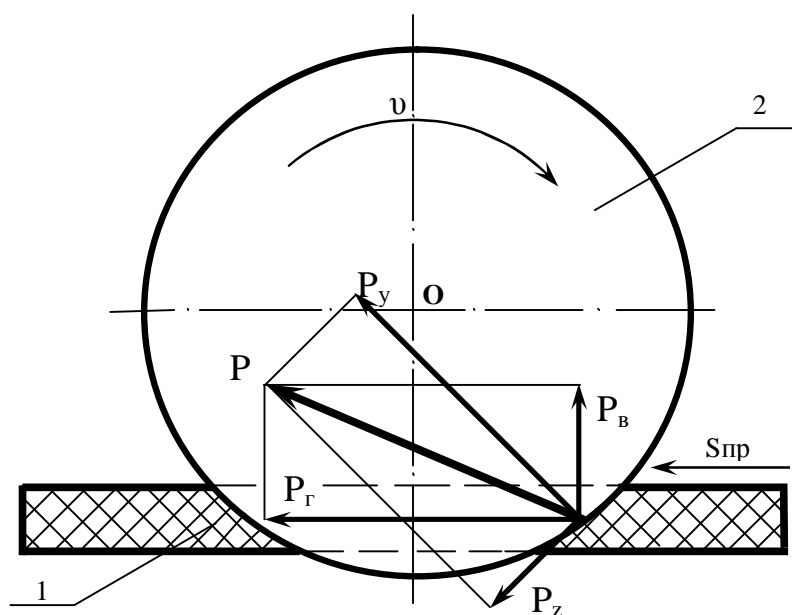


Рис. 1. Система сил, действующих при разрезании полимерных композиционных материалов. 1 – обрабатываемый материал; 2 – однослойный алмазно-абразивный отрезной круг.

$$P = \sqrt{P_B^2 + P_T^2}, \text{ Н} \quad (1)$$

При проведении экспериментов применяли однослойные дисковые алмазно-абразивные отрезные круги (рис. 2) со следующими геометрическими параметрами: вариант I - алмазный круг со сплошной режущей кромкой (форма 1A1R); вариант II - круг с прерывистой режущей кромкой (1A1RSS/C1) - 150 выступов, протяженность впадины $n = 1$ мм, шаг $t = 3,5$ мм; вариант III - круг с прерывистой режущей кромкой (1A1RSS/C2) - 50 выступов, $n_1 = 3,5$ мм, $t_1 = 10,5$ мм. При выборе данных конструкций кругов учитывались не только особенности резания ПКМ с позиции

напряженности процесса обработки, но и износостойкость, динамика, режущая способность инструмента и технологичность его изготовления гальваническим способом. Круги состоят из корпуса 1 диаметром D в виде плоского диска толщиной h (а) или диска с утолщенной центральной частью толщиной h_1 (б), изготавливаемых из стали 9ХФ, 9ХФМ, твердостью 38...42 HRC, и алмазсодержащего слоя 2. Один слой алмазных зерен закреплен связкой Э1 на поверхности корпуса круга методом гальваностегии [14].

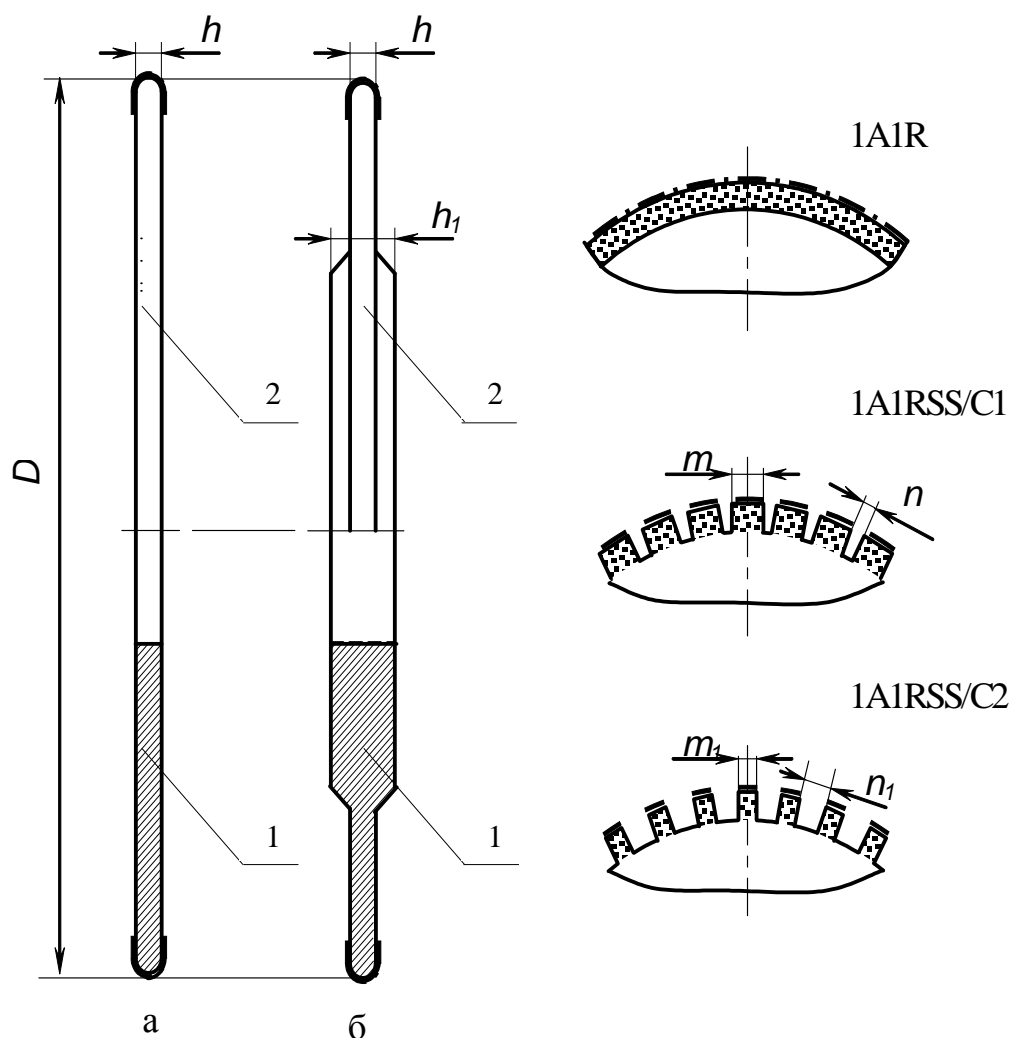


Рис. 2. Конструкции однослойных алмазно-абразивных кругов: а - плоский диск; б - диск с утолщенной центральной частью; 1 - корпус круга; 2 - алмазсодержащий слой (m, m_1 - длина выступа; n, n_1 - протяженность впадины).

В качестве обрабатываемого материала 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), органостеклопластик Т42/1-76 и органопластик СВМ. 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 - термореактивная смола. В органостеклопластике 40-44 % связующего, в углепластике 57-63 %, стеклопластике 20-67 %.

Свойства полимерных композиционных материалов зависят от структуры, типа связующего, армирующего материала и наполнителей. В табл.1 приведены пределы изменения свойств обрабатываемых материалов, и для сравнения - также некоторых металлов.

Таблица 1. Физико-механические и теплофизические свойства полимерных композиционных материалов, стали и алюминия

Свойства	Полимерные композиционные материалы				Сталь 45	Алюминий
	Углепластики		Стеклопластики	Органо-пластики		
	ЭЛУР	УОЛ	T10-80	СВМ		
Плотность, кг/м ³	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
-при сдвиге	49	59	-	-		
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

Условия проведения экспериментов: диаметр алмазного отрезного круга D = 200 мм, толщина корпуса 1,8 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 26 до 66 м/с (26, 33, 47 и 66), толщина разрезаемого материала (δ) - от 5 до 20 мм, подачу (S_{пр}) варьировали от 3 до 12 м/мин (3,0; 6,0; 9,0; 12,0). Резку выполняли без применения охлаждающих технологических сред, высота резки 98 мм.

Влияние режима резания (скорости резания, подачи) и других условий обработки (толщины разрезаемого материала, марки алмазов в круге и его зернистости, геометрических параметров алмазсодержащего слоя круга, вида обрабатываемого материала) на силу резания устанавливали по схеме однофакторного эксперимента [1, 13].

Результаты исследований. Обобщенные зависимости силы резания от режима резания, характеристики круга и других условий обработки при разрезании полимерных композиционных материалов однослойными алмазно-абразивными отрезными кругами имеют следующий вид:

-разрезание углепластиков и стеклопластиков

$$P = C_i v^{-0,28} S_{np}^{0,68} \delta^{1,19} d^{-0,29} D^{-0,10}, \text{ Н} \quad (2)$$

-разрезание органостеклопластиков и органопластиков

$$P = C_j v^{-0,30} S_{np}^{0,70} \delta^{1,11} d^{-0,26} D^{-0,49}, \text{ Н} \quad (3)$$

Значения коэффициентов C_i и C_j приведены в табл.2.

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

Обрабатываемый материал	Коэффициенты C_i и C_j		
	Форма круга		
	1A1R	1A1RSS/C1	1A1RSS/C2
Углепластик ЭЛУР	35	24	29
Углепластик УОЛ	52	32	39
Стеклопластик Т10-80	45	30	36
Органостеклопластик Т42/1-76	4484	2391	2989
Органопластик СВМ	6162	5891	4238

Формулы (2) и (3) справедливы при скорости главного движения резания 26 - 66 м/с; скорости продольной подачи 3 – 12 м/мин; толщине разрезаемого материала 5 – 20 мм; зернистости алмаза в круге 200/160 – 630/500; диаметре круга 100 – 350 мм. Максимальное расхождение между значениями силы резания, рассчитанной по приведенным формулам и экспериментальным ее значениям составляет 7 – 12 %, что допустимо для практических расчетов.

В табл. 3 приведены значения силы резания при разрезании исследуемых ПКМ однослойными алмазно-абразивными кругами формы 1A1R, 1A1RSS/C1 и 1A1RSS/C2 при продольных подачах 3, 6, 9 и 12 м/мин.

Из приведенных выше формул (2) и (3), а также данных табл. 3 видно, что наибольшее влияние на силу резания для широкого диапазона параметров режима резания оказывают толщина разрезаемого материала (показатель степени 1,19 и 1,11), затем продольная подача (0,68 и 0,70) и диаметр круга (- 0,49) при разрезании полимерных композиционных материалов с вязко-упругой природой разрушения (органопластики). Слабо влияет скорость главного движения резания (- 0,28 и - 0,30) и слабо, незначительно – диаметр отрезного круга (- 0,10) при разрезании полимерных композиционных материалов с хрупкой природой разрушения (углепластики и стеклопластики).

Таблица 3. Сила резания при разрезании исследуемых ПКМ

Обрабатываемый материал	Сила резания, Н											
	Форма круга											
	1A1R				1A1RSS/C1				1A1RSS/C2			
	При продольной подаче, м/мин											
	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
Углепластик ЭЛУР	19,5/ 20,0	31,2/ 32,0	41,1/ 43,2	50,2/ 56,2	13,4/ 13,9	21,4/ 22,3	28,2/ 30,6	34,4/ 38,5	16,2/ 16,8	25,9/ 27,2	34,1/ 36,5	41,6/ 46,6
Углепластик УОЛ	25,1/ 26,8	40,1/ 42,7	52,8/ 56,1	64,2/ 71,9	17,9/ 19,0	28,7/ 30,2	37,9/ 41,3	46,1/ 51,6	22,8/ 23,4	35,0/ 38,2	46,2/ 50,8	56,2/ 62,9
Стеклопластик Т10-80	29,1/ 30,1	46,6/ 47,8	61,6/ 63,8	74,9/ 83,9	16,7/ 17,8	26,7/ 29,1	35,2/ 38,4	42,8/ 47,9	20,1/ 21,5	32,1/ 34,9	42,2/ 46,4	51,4/ 57,6
Органостеклопластик Т42/1-76	41,4/ 42,2	67,5/ 72,2	89,6/ 98,6	109,5/ 122,6	22,1/ 23,6	36,0/ 38,2	47,8/ 52,1	58,4/ 65,4	27,6/ 28,5	45,0/ 49,1	59,8/ 65,7	73,0/ 81,8
Органопластик СВМ	41,1/ 42,3	66,7/ 68,7	88,6/ 97,5	108,4/ 121,4	39,3/ 40,1	63,8/ 67,5	84,7/ 93,1	103,6/ 116	28,3/ 29,3	45,9/ 50,1	60,9/ 67,0	74,5/ 84,4

Числитель – расчетное значение силы резания

Знаменатель – экспериментальное значение силы резания .

При разрезании углепластиков типа ЭЛУР кругами формы 1A1R сила резания примерно в 1,20 – 1,45 раза выше, чем кругами с прерывистой режущей кромкой. Уровень снижения силы резания при разрезании стеклопластика еще выше и составляет 45 – 75 %. Особенно влияние прерывистости рабочей поверхности кругов проявляется при разрезании полимерных материалов, в состав которых входят органические волокна. Так при разрезке органостеклопластиков типа Т42/1-76, как видно из данных, приведенных в табл. 3, сила резания кругами формы 1A1RSS/C1 и 1A1RSS/C2 почти в 1,5 – 2,0 раза меньше, чем кругами 1A1R. Приведенные данные с одной стороны свидетельствуют о неоспоримом преимуществе применения однослойных алмазно-абразивных кругов с прерывистой режущей кромкой по сравнению с алмазными кругами со сплошной режущей кромкой, а с другой стороны показывают, что конструктивная форма и геометрические параметры рабочей поверхности оказывает существенное влияние на напряженность процесса резания. Так при разрезании органостеклопластиков и органопластиков алмазными отрезными кругами со сплошной режущей кромкой (1A1R) сила резания при продольных подачах свыше 9 м/мин достигает достаточно высоких значений 108 – 110 Н, что совершенно неприемлемо по условиям обработки [16 - 18].

Самый низкий уровень силы резания при разрезании углепластика типа ЭЛУР и стеклопластика Т10-80 показали круги формы 1A1RSS/C1. Сравнение данных, приведенных в табл. 3 показывает, что уровень силы резания при разрезании углепластика типа ЭЛУР и стеклопластика типа Т10-80 кругами формы 1A1RSS/C1 примерно на 20-25 % ниже, чем кругами формы 1A1RSS/C2. Таким образом, применение кругов формы 1A1RSS/C1 наиболее эффективно при разрезании «чистых» углепластиков и стеклопластиков (без добавления органических волокон), что позволяет суммарно снизить динамический фактор в процессе резания на 50 - 60 % по сравнению с применением кругов формы 1A1R. При разрезании «гибридных» ПКМ, каковыми являются углепластик типа УОЛ и органостеклопластик типа Т42/1-76 (к углеродным и стеклянным волокнам добавлено органическое волокно типа СВМ),

кругами формы 1A1RSS/C1 установлено, что данная геометрическая форма режущей кромки обеспечивает снижение силы резания примерно на 20 - 25 % по сравнению с кругами формы 1A1R.

При разрезании органопластикой типа СВМ, как показали проведенные нами исследования, наиболее рационально применять круги формы 1A1RSS/C2, уровень силы резания при работе которыми примерно на 35 – 40 % ниже, чем кругами типа 1A1RSS/C1.

По нашему мнению, такой характер влияния конструктивных форм и геометрических параметров режущей кромки однослойных алмазно-абразивных отрезных кругов на напряженность процесса резания при разрезании ПКМ связан с особыми физико-механическими и теплофизическими свойствами обрабатываемых материалов, особенностями механики контактного взаимодействия системы «инструмент-деталь» [19] и теплообразованием при их разрезании [15]. Физические свойства волокон и матрицы сильно отличаются [20]. Комбинация этих свойств в совокупности с ориентацией волокон определяет рабочие характеристики армированных полимерных композиций, а также их обрабатываемость. При этом влияние материала волокон в этом отношении является доминирующим. При разрезании рассматриваемых ПКМ четко наблюдалось хрупкое разрушение неорганических волокон из углерода и стекла в противоположность вязко-упругому 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, имеющим место у металлов и органического волокна. По этой причине органическое волокно хорошо противостоит изгибающему напряжению, в то время как углеродное и стеклянное волокно разрушается 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 полимерной составляющей (структурирование полимерной составляющей) на рабочую поверхность круга. Следствием этого является более высокий уровень силы резания при разрезании углепластиков типа УОЛ и особенно стеклоорганопластиков типа Т42/1-76 в сравнении с углепластиками типа ЭЛУР и стеклопластиками типа Т10-80.

Заключение. Экспериментально установлены обобщенные силовые зависимости при разрезании полимерных композиционных материалов однослойными алмазно-абразивными отрезными кругами. Наибольшее влияние на силу резания для широкого диапазона параметров режима резания оказывают толщина разрезаемого материала (показатель степени 1,19 и 1,11), затем продольная подача (0,68 и 0,70) и зернистость порошка алмаза и диаметр круга (- 0,49) при разрезании полимерных композиционных материалов с вязко-упругой природой разрушения (органопластики). Слабо влияет скорость главного движения резания (- 0,28 и - 0,30) и слабо, незначительно – диаметр отрезного круга (- 0,10) при разрезании полимерных композиционных материалов с хрупкой природой разрушения (углепластики и стеклопластики).

При разрезании ПКМ с хрупкой природой разрушения необходимо применять круги формы 1A1RSS/C1, а с вязко-упругой природой разрушения круги формы 1A1RSS/C2.

Соотношение силы резания при разрезании различных полимерных композиционных материалов: углепластик типа ЭЛУР – стеклопластик типа Т10-80 -

углепластик типа УОЛ – органостеклопластик типа Т42/1-76 – органопластик типа СВМ следующее: 0,8 : 1,0 : 1,1 : 1,4 : 2,4.

Список литературы: 1. Дрожжин В.И. Физические особенности и закономерности процесса резания слоистых пластмасс : Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Киев, 1983. – 39 с. 2. Кобаяши А. Обработка пластмасс резанием (Сокр. перевод с англ.). – М.: Машиностроение, 1974. – 192 с. 3. Степанов А.А. Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов. - Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987. – 176 с. 4. Штучный Б.П. Механическая обработка пластмасс : Справочник. – 2 – е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 152 с. 5. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов. Учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1974. – 587 с. 6. König W., Wulf Gh., Graß P., Willerschnied H. Keynote-papers. Machining of fibre reinforced plastics. CIRP. Annals of the. 34(2), 1985. p.537 – 548. 7. Reimann W. Hochgeschwindigkeitbearbeitung faserverstärkten Kunststoffe. – «Ind. - Anz.», 1987, 109, № 48, p. 38 – 39. 8. Graß P., Kieninger W. Sauber trenen. Zerspantn von Kunststoffen mit Diamantschneiden. «Maschinen – markt», 1987, 93, № 27, p. 48 – 51. 9. Инструменты из сверхтвердых материалов /Под ред. Н.В.Новикова. – М.: Машиностроение, 2005. – 555 с.: ил. (Б-ка инструментальщика). 10. Шепелев А.А., Сороченко В.Г. Прудников. Резка полимерных композиционных материалов однослойными алмазными кругами // Инструментальный світ № 4(16). 2002. – С. 29-31. 11. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. – М.: Машиностроение. – 1975. – 344 с. 12. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. – М.: Машиностроение. – 1975. – 176 с. 13. Сороченко В.Г. Процесс алмазного шлифования древесно-фенольных композиций. – Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Киев, 1986. – 20 с. 14. Прудников Е.Л. Алмазный инструмент на гальванической связке // Инструментальный світ № 9. 2000. – С. 28 - 30. 15. Шепелев А.А., Сороченко В.Г., В.И.Дрожжин. 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. 16. 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. 17. Шепелев А.А., Сороченко В.Г. Технологические основы алмазно-абразивной обработки полимерных композиционных материалов // Современные проблемы машиноведения: тез. докл. VI Между нар. науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. П.О.Сухому), Гомель, 19-20 окт. 2006 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П.О.Сухого, ОАО «ОКБ Сухого»; под общ. ред. С. Б. Сарело. - Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2006. - С. 45 - 46. 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.О., Сороченко В.Г. Особливості механіки контактної взаємодії інструмента з деталлю при алмазно-абразивній обробці полімерних композиційних матеріалів. Процеси механічної обробки в машинобудуванні //Збірник наукових праць. Випуск 3. Житомир, 2006. – С. 286 - 300. 20. Шепелев А.А., Сороченко В.Г. Технология алмазно-абразивной обработки полимерных композиционных материалов // Технологии механической обработки материалов: Сб.

НЕЛИНЕЙНЫЙ ЗАКОН ТРЕНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

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

Mathematical modeling of contact interaction taking into account nonlinear friction law is in investigation in technical systems. Such dependence of friction from loading is closer to real processes at contact domains than linear dependence, which is in common use, as it gives possibility to receive easier solution. Because of awkward mathematic difficulties in solving of specific real problems, there is a certain "distance" between theory and practical usage of the solutions. Clear, effective, computational convenient methods for engineering practice are developed at present work for solving the problem about pressing of single, doubly-connected punches into elastic half-space under nonlinear friction and roughness laws. The normal pressure distributions on elliptic ring contact domains, its shape, punch inclinations, penetrations accounting linear and nonlinear friction are obtained.

1. Введение

При существующих темпах развития техники важными являются повышение прочности, надежности и долговечности конструкций. Как правило, области контакта характеризуются высоким уровнем концентрации напряжений, что часто приводит к частичному или полному разрушению элементов конструкций.

Исследования в механике контактных взаимодействий связаны с необходимостью введения адекватных математических моделей, которые учитывали бы с достаточной точностью реальные механические эффекты, и со сложностью математического анализа смешанных задач теории упругости, которые формулируются в рамках принятых моделей. Важную роль при контактном взаимодействии играет трение, природа которого еще не полностью изучена.

Анализ публикаций показывает, что математическая теория решения контактных задач развита достаточно хорошо для круговых и кольцевых областей контакта [1–5]. Недостаточно исследованными остаются, например, задачи с учетом реальной геометрии контактирующих тел и сил трения, что и делает актуальной данную работу.

Наиболее часто при решении контактных задач используется закон Кулона в линейном виде [6-10]. Однако, как показали работы Ф.Боудена, Б.В.Дерягина, И.В. Крагельского, более близко реальность отображают математические модели с учетом нелинейных законов формирования сил трения. Как известно, коэффициент трения непосредственно не определяется только механическими свойствами контактирующих тел [11]. Величина его определяется такими трудно учитываемыми факторами, как отношение развивающихся в деформированном объеме напряжений, величиной деформируемого объема, свойствами пленок и др. Этот комплекс трудно учитываемых параметров предлагается в работах [11, 12] выражать биномиальной или степенной зависимостями удельной силы трения от удельного давления.