

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-10-72-83

Любимый Н.С., Романович М.А., Тихонов А.А., Бабкин М.С.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: nslubim@bk.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛ-МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНОЙ ДЕТАЛИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ПЛОСКИМ ШЛИФОВАНИЕМ

Аннотация. Знания точной температуры нагревания комбинированной металл-металлополимерной детали при обработке плоским шлифованием помогает при назначении режимов резания, а также прогнозирования долговечности обработанной детали. Точный мониторинг температуры нагрева детали при плоском шлифовании позволяет понять, происходит ли температурная деструкция поверхностных слоев металлополимера, которая может снизить долговечность обрабатываемой детали из-за прожогов поверхностных слоев. В то же время, точное определение температуры в зоне резания дает понимание о необходимости применения смазочно-охлаждающих технологических средств, которые не всегда можно применять без дополнительных исследований при обработке металлополимеров имеющих диеновую матрицу. Исследование температуры в зоне резания необходимо из-за более низкой температуры деструкции металлополимера по отношению к металлу. В этой статье исследуется процесс плоского шлифования комбинированной металл-металлополимерной детали с использованием теоретических расчетов, метода конечно-элементного анализа, аналитической оценки результатов эксперимента. Оценка температуры в зоне резания производилась для детали – формообразующей плиты пресс-формы, что диктовало выбор определенного диапазона режимов резания, позволяющих получить требуемую шероховатость плоскости смыкания формообразующей детали.

Ключевые слова: металлополимер, металл-металлополимер, пресс-формы, заливка, глубина резания, моделирование, нагревание.

Введение. Металлополимерные материалы – это олигоэфиракрилатные многокомпонентные материалы, имеющие в своей основе пластичную матрицу и наполнитель. Как правило в качестве базы (матрицы) выступает модифицированная эпоксидная смола, а в качестве наполнителя может служить любой мелкодисперсный наполнитель [1, 2]. Сочетание пластичных свойств матрицы и физико-механических свойств наполнителя дает составу ряд уникальных свойств, таких как текучесть в не отвержденном состоянии, прочность и твердость в отвержденном состоянии, электропроводность или свойства изолятора, теплопроводность и многие другие свойства, зависящие от того какой именно материал выбран в качестве наполнителя. Различные производители, изменяя состав и пропорции компонентов добиваются получения составов, находящихся свое применение в различных отраслях промышленности. Чаще всего можно встретить вариант [1, 2] когда металлополимеры используют в качестве ремонтных составов, когда ремонтную деталь не представляется возможным вывести из оборудования для её ремонта или замены из-за непрерывности технологического процесса и требуется обеспечить ремонт и восстановление в составе сборочной единицы. Другим вариантом использования металлополимерных составов, яв-

ляется использование металлополимеров для изготовления новых изделий методом литья. Кроме того, металлополимеры могут выполнять и роль защитного состава, когда поверхность изделия обрабатывается составом для придания антикоррозийных или антифрикционных свойств. Так же нередко металлополимеры используют в качестве клеевого состава при сборке различных узлов и агрегатов. Благодаря пренебрежительно низкому проценту объемной усадки металлополимерного состава, его так же используют для герметизации неподвижных соединений деталей.

При изготовлении пресс-форм для литья пластиковых изделий используют как стандартные изделия, изготовленные согласно нормам взаимозаменяемости, так и специальные детали, выполненные непосредственно под то изделие, которое планируется отливать в пресс-форме. Фактически производители оснастки стремятся использовать в конструкции пресс-формы унифицированные детали, объем которых может достигать до 95 % от всего комплекта деталей пресс-формы. Стоимость унифицированных деталей в цене пресс-формы составляет от 15 до 65 %. Изменения процента состава стандартных изделий во многом зависят от конструкции самого изделия которое планируется изготавливать в пресс-форме, а также от опыта и квалификации конструктора оснастки.

К специальным деталям пресс-формы чаще всего относятся формообразующие детали – матрицы и пуансоны. Именно формообразующие детали составляют наибольшую долю в стоимости всей пресс-формы, так как их изготовление является наиболее сложным технологически, а также требует соблюдения высоких точностных и размерных допусков. Формообразующие детали пресс-форм составляют наибольшую часть стоимости пресс-формы, а, следовательно, существует экономическая целесообразность реконструирования таких деталей под вновь изготавливаемые изделия в тех случаях где это возможно.

Авторы статьи работают над совершенствованием технологии реконструирования формообразующих деталей пресс-форм с использованием металлополимера наполненного алюминием марки «LEO». Результаты ранних изысканий приведены в [3, 4].

Способ получения формообразующих деталей с применением металлополимера, а также конструкция самой пресс-формы с комбинированными формообразующими деталями запатентованы [5, 6], однако авторы могут позволить себе в данной работе раскрыть некоторые аспекты и привести общую схему получения комбинированной формообразующей детали, для того чтобы раскрыть актуальность исследований, описываемых в текущей работе. Обобщенная схема получения комбинированной формообразующей детали для изделия «звездочка» с одной плоскостью разреза приведена ниже.

На первом этапе производится изготовление мастер-модели будущего изделия на 3D принтере. Модель изделия «звездочка», которая имеет специальные технологические основания с двумя отверстиями. Данное основание и отверстия необходимы для того, чтобы правильно отцентрировать модель относительно металлической части формообразующей плиты.

Далее напечатанная модель собирается с предварительно подготовленной металлической обоймой (рис. 1). Здесь модель 1 укладывается на основание и сверху накрывается металлической обоймой 3, которая имеет колодец 7. В колодец устанавливается закладная деталь 2 из выполняемого материала. Подвод охлаждающей жидкости осуществляется через отверстия 8, показана позиция 5 и вынесена из сборки. После отверждения металлополимера и извлечения мастер-модели, поверхность разреза 6 подвергается шлифованию.

Выше приведенная схема является упрощенной и не отражает многих нюансов получения комбинированной формообразующей детали пресс-формы, однако она показывает, что одним из заключительных этапов является именно шлифование плоскости смыкания, состоящей из двух материалов: металла обоймы и металлополимера формообразующей части. Шлифование необходимо для того чтобы убрать технологические припуски свойственные мастер-модели при ее получении на 3D принтере. В случае невыполнения требований по шероховатости и плоскостности плоскости смыкания требованиям стандарта [7, 8], деталь в такой пресс-форме может получаться с облоем, что так же недопустимо.

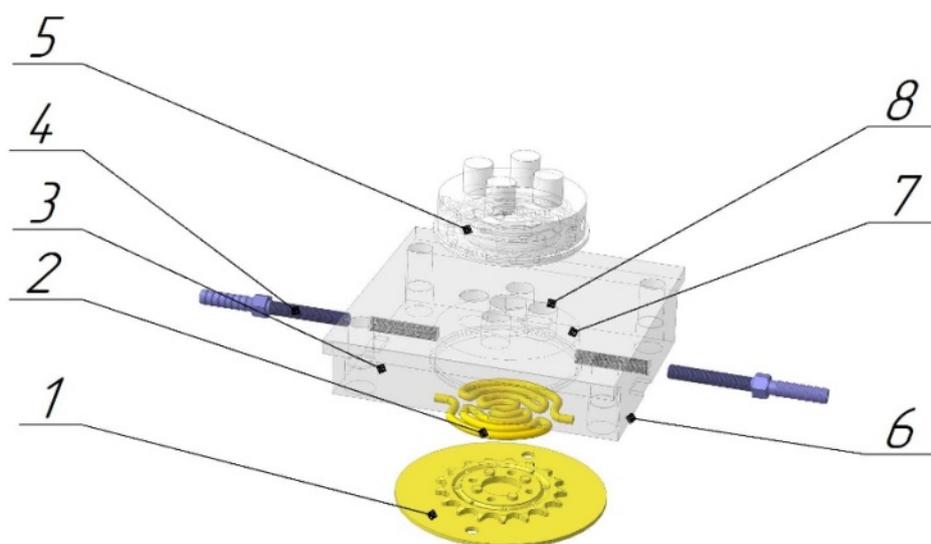


Рис. 1. Компоненты сборки в разнесенном виде:

- 1 – мастер-модель; 2 – технологические отверстия; 3 – металлическая обойма; 7 – колодец;
5 – мастер-модель; 6 – каналы охлаждения.

Материалы и методы. Согласно теории абразивной обработки [8, 9] разработанной сотрудниками Южно-Уральского государственного университета Кошиным А.А. и Сопельцевым А.В., а также работами Корчака С.Н., с учетом рекомендаций производителей абразивного инструмента, для обработки плоской поверхности смыкания пресс-формы с учетом обеспечения требуемой размерной точности и шероховатости $Ra < 0,80$ рекомендуется использовать круг из электрокорунда марки 25А, зернистостью не выше 16, с углом заострения 85° .

Проблема назначения корректных режимов абразивной обработки, на решение которой направленно настоящее исследование заключается в том, что возникает необходимость одновременной (совместной) обработки изделия, имеющего разные физико-механические свойства и соответственно отличные режимы резания как для металла, так и для металлополимера. Другими словами, необходимо подобрать те режимы шлифования, которые бы позволяли произвести обработку комбинированной детали с требуемой шероховатостью и не допустить возникновения дефектов обоих материалов. В теории могут возникнуть такие дефекты как прижёги и температурная деструкция матрицы металлополимера. Использование СОТС также не рассматривается в работе, так как на сегодняшний день нет данных о воздействии СОТС и металлополимера, что может привести к невидимой химической реакции и разрушению металлополимера или другим непрогнозируемым последствиям.

В соответствии с теорией абразивной обработки [9, 10], при обработке поверхности периферией круга нагрев поверхности имеет циклический характер. Существуют циклы нагрева и охлаждения, время цикла рассчитывается согласно выражению [10**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]:

$$\tau_H = \frac{2 \cdot h}{S_l} = \frac{\sqrt{D \cdot t}}{S_l \cdot 1000}, \quad (1)$$

где S_l – продольная подача стола, м/мин; D – диаметр шлифовального круга, мм; t – глубина резания при шлифовании, мм; $2 \cdot h$ – ширина плоского источника тепла.

Так как требуется вычислить температуру нагрева металлополимера при шлифовании, необходимо вычислить мощность источника тепла, для чего воспользуемся предложенной учеными Пермского национального технологического университета формулой, Вт [11, 12]:

$$Q_{h.s} = 0,4899 \cdot \mu_h \cdot \sigma_B \cdot V \cdot b_2 \cdot l_2 \cdot n_p \cdot B \cdot l_g, \quad (2)$$

где μ_h – коэффициент трения зерна о заготовку; σ_B – предел прочности обрабатываемого материала, МПа; V – скорость резания при шлифовании, мм/с; b_2 – ширина среза зерна, мм; l_2 – длина контакта зерна с обрабатываемым материалом по задней поверхности, мм; n_p – количество зерен при одновременном контакте; B – высота круга, мм; l_g – длина контакта круга с заготовкой, мм.

Согласно рекомендациям из [8], принимаем $\mu_h = 0,46$, угол зерна принимаем равным – 85° . Длина контакта круга с заготовкой, мм [13, 14]:

$$l_g = \pi D \frac{\arcsin\left(\frac{D-2t}{D}\right)}{360^\circ}, \quad (3)$$

где D – диаметр круга, мм; t – глубина резания, мм.

Учитывая то, что в выражении (2) присутствует параметр σ_B , имеющий различные данные для стали и металлополимера, то и количество теплоты, выделяющееся при снятии припуска, разное.

Количество зерен в круге (средневероятностное) [9]:

$$n_p = \frac{0,0126}{\chi_{av}^2} \cdot \sqrt{\frac{S_l \cdot \sqrt{t} \cdot D \cdot K}{V \cdot 0,25}}, \quad (4)$$

где χ_{av} – средне вероятный размер зерна (0,55 мм) для выбранного, по требуемой шероховатости круга [15, 16**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]; S_l – продольная подача стола, мм/с; V – скорость резания, мм/с; K – концентрация режущего материала в круге, %.

Для выбранного материала круга производители указывают 100 %-ю концентрацию, или $K = 1$.

На основе выше приведенных выражений для расчета мощности теплового излучения на поверхности обработки, вычислим значения температуры, для этого воспользуемся моделированием процесса теплопереноса с помощью программы конечно-элементного анализа.

Основная часть. Для более простого понимания процесса шлифования необходимо разработать схему абразивной обработки комбинированной детали (рис. 2) [14].

В двух случаях, представленных на рис. 2, производится обработка темплета с размером l , h и e . В расчетах принимаем – $e = B_k$, так как упрощит расчет и не окажет влияния на температуру в зоне $e/2$. Так же в двух случаях длина обработки, рассчитывается от радиуса ($D_{кр}/2$) круга и глубины резания t .

На схеме \bar{b} модель представлена двумя участками: 1 – участок из металлополимера, 2 – участок из металла. С учетом технологии изготовления комбинированной детали, длина металлополимерного участка должна стремиться к минимуму, с целью обеспечения максимальной теплопроводности.

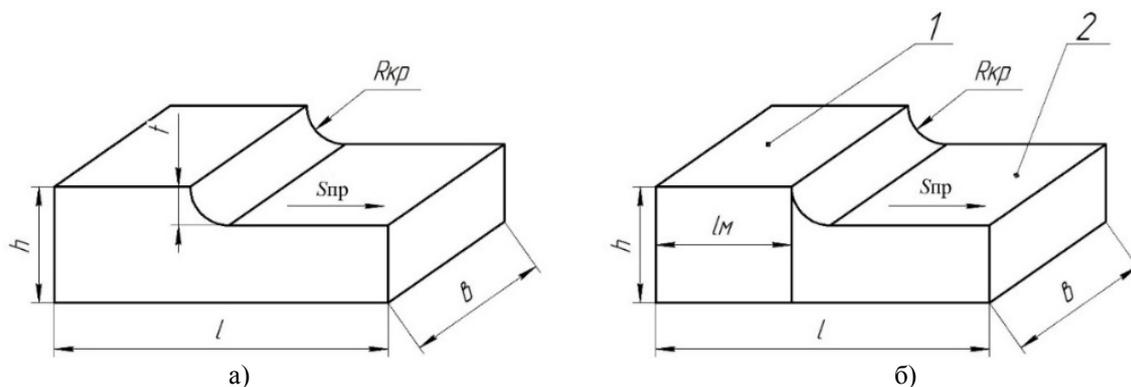


Рис. 2. Схема моделей для определения теплопереноса:
а – металлополимер; б – металлополимерная композиция

Источником тепла является радиусная поверхность, в качестве начальной температуры взята температура 25 °С (Окружающая среда в цеху). Параметры шлифовального круга – материал 25А, высота круга 40 мм, диаметр круга 450 мм, а также режимы резания – глубина резания

изменяется от 0,01 до 0,1 мм, продольная подача стола от 9 до 24 м/мин (0,015 до 0,4 м/с).

В таблицу 1 сведены расчеты мощности тепловыделения на всех диапазонах режимов резания [17, 18] для обоих материалов – стали и металлополимера.

Таблица 1

**Значения мощности тепловыделения кВт при обработке стали 40Х13. ГОСТ 4543
(предел прочности 1840 МПа)**

		Глубина резания, мм									
		0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
Продольная подача стола м/с	0,015	87	103	113	122	129	134	140	144	148	152
	0,03	123	145	161	172	182	190	197	204	210	215
	0,045	150	178	197	211	223	233	242	250	257	263
	0,06	173	206	227	244	257	269	279	288	296	304
	0,075	194	230	254	272	287	300	312	322	331	340
	0,09	212	252	278	298	315	329	342	353	363	372
	0,105	229	272	300	322	340	356	369	381	392	402
	0,12	245	291	321	344	364	380	395	408	419	430
	0,135	260	308	340	365	386	403	419	432	445	456
	0,15	274	325	359	385	407	425	441	456	469	481
	0,165	287	341	376	404	426	446	463	478	492	504
	0,18	300	356	393	422	445	466	483	499	513	527
	0,195	312	370	409	439	464	485	503	519	534	548
	0,21	324	384	425	456	481	503	522	539	555	569
	0,225	335	398	440	472	498	520	540	558	574	589
	0,24	346	411	454	487	514	538	558	576	593	608
	0,255	357	424	468	502	530	554	575	594	611	627
	0,27	368	436	482	517	545	570	592	611	629	645
	0,285	378	448	495	531	560	586	608	628	646	663
	0,3	387	460	508	545	575	601	624	644	663	680
0,315	397	471	520	558	589	616	639	660	679	697	
0,33	406	482	532	571	603	630	654	676	695	713	
0,345	415	493	544	584	617	645	669	691	711	729	
0,36	424	503	556	597	630	658	683	706	726	745	
0,375	433	514	567	609	643	672	698	720	741	760	
0,39	442	524	579	621	656	685	711	735	756	775	
0,405	450	534	590	633	668	698	725	749	770	790	

Выполнив подобные вычисления для металлополимерного материала на базе паспортных данных металлополимера [2] полученные данные сведем в таблицу 2.

Для того чтобы провести конечно-элементные расчеты необходимо также выполнить расчеты времени цикла нагрева и охлаждения согласно выражения (1). Расчетные данные также сведем в таблицу 3.

Таблица 2

**Значения мощности (кВт) тепловыделения при обработке металлополимера, наполненного
алюминием (предел прочности 140 МПа)**

		Глубина резания, мм									
		0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
Продольная подача стола	0,015	7	8	9	9	10	10	11	11	11	12
	0,03	9	11	12	13	14	14	15	16	16	16
	0,045	11	14	15	16	17	18	18	19	20	20
	0,06	13	16	17	19	20	20	21	22	23	23
	0,075	15	17	19	21	22	23	24	25	25	26
	0,09	16	19	21	23	24	25	26	27	28	28
	0,105	17	21	23	25	26	27	28	29	30	31
	0,12	19	22	24	26	28	29	30	31	32	33
	0,135	20	23	26	28	29	31	32	33	34	35
	0,15	21	25	27	29	31	32	34	35	36	37
	0,165	22	26	29	31	32	34	35	36	37	38
	0,18	23	27	30	32	34	35	37	38	39	40
	0,195	24	28	31	33	35	37	38	40	41	42
	0,21	25	29	32	35	37	38	40	41	42	43
	0,225	26	30	33	36	38	40	41	42	44	45
	0,24	26	31	35	37	39	41	42	44	45	46
	0,255	27	32	36	38	40	42	44	45	47	48
	0,27	28	33	37	39	42	43	45	47	48	49
	0,285	29	34	38	40	43	45	46	48	49	50
	0,3	29	35	39	41	44	46	47	49	50	52
0,315	30	36	40	42	45	47	49	50	52	53	
0,33	31	37	41	43	46	48	50	51	53	54	
0,345	32	37	41	44	47	49	51	53	54	55	
0,36	32	38	42	45	48	50	52	54	55	57	
0,375	33	39	43	46	49	51	53	55	56	58	
0,39	34	40	44	47	50	52	54	56	58	59	
0,405	34	41	45	48	51	53	55	57	59	60	

Таблица 3

Величина цикла нагрева-охлаждения, мс.

		Глубина резания, мм									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Продольная подача стола м/с	0,015	141	200	245	283	316	346	374	400	424	447
	0,03	71	100	123	141	158	173	187	200	212	224
	0,045	47	67	82	94	105	116	125	133	141	149
	0,06	35	50	61	71	79	87	94	100	106	112
	0,075	28	40	49	57	63	69	75	80	85	89
	0,09	24	33	41	47	53	58	62	67	71	75
	0,105	20	29	35	40	45	50	54	57	61	64
	0,12	18	25	31	35	40	43	47	50	53	56
	0,135	16	22	27	31	35	39	42	44	47	50
	0,15	14	20	25	28	32	35	37	40	42	45
	0,165	13	18	22	26	29	32	34	36	39	41
	0,18	12	17	20	24	26	29	31	33	35	37
	0,195	11	15	19	22	24	27	29	31	33	34
	0,21	10	14	18	20	23	25	27	29	30	32
	0,225	9	13	16	19	21	23	25	27	28	30
	0,24	9	13	15	18	20	22	23	25	27	28
	0,255	8	12	14	17	19	20	22	24	25	26
	0,27	8	11	14	16	18	19	21	22	24	25
	0,285	7	11	13	15	17	18	20	21	22	24
	0,3	7	10	12	14	16	17	19	20	21	22
0,315	7	10	12	14	15	17	18	19	20	21	
0,33	6	9	11	13	14	16	17	18	19	20	
0,345	6	9	11	12	14	15	16	17	18	19	
0,36	6	8	10	12	13	14	16	17	18	19	
0,375	6	8	10	11	13	14	15	16	17	18	
0,39	5	8	9	11	12	13	14	15	16	17	
0,405	5	7	9	11	12	13	14	15	16	17	

Для расчетов использовалось ПО *ELCUT* 6.1., а также рекомендации [19, 20]. Порядок расчета:

1. На первом этапе была составлена геометрическая модель толщиной 40 мм в соответствии с данными из таблицы 1 и таблицы 2.

2. На втором этапе были внесены данные о материалах: металлополимера – плотность 1850 кг/м³; теплоёмкость 7,5 Дж/кг·К [18]; теплопроводность 0,3 Вт/К·м; Сталь 40X13 – плотность

7850 кг/м³; теплоёмкость 400 Дж/кг·К; теплопроводность 385 Вт/К·м.

3. В третью очередь были указаны начальные условия – температура 298 К.

4. Далее обозначено место (грань модели) по которой производился нагрев.

5. В заключении был выполнен сам расчет. Значение максимальных температур (К) были записаны в таблицу 4.

Для примера на рис. 3 показана геометрическая модель при глубине резания 0,1 мм.

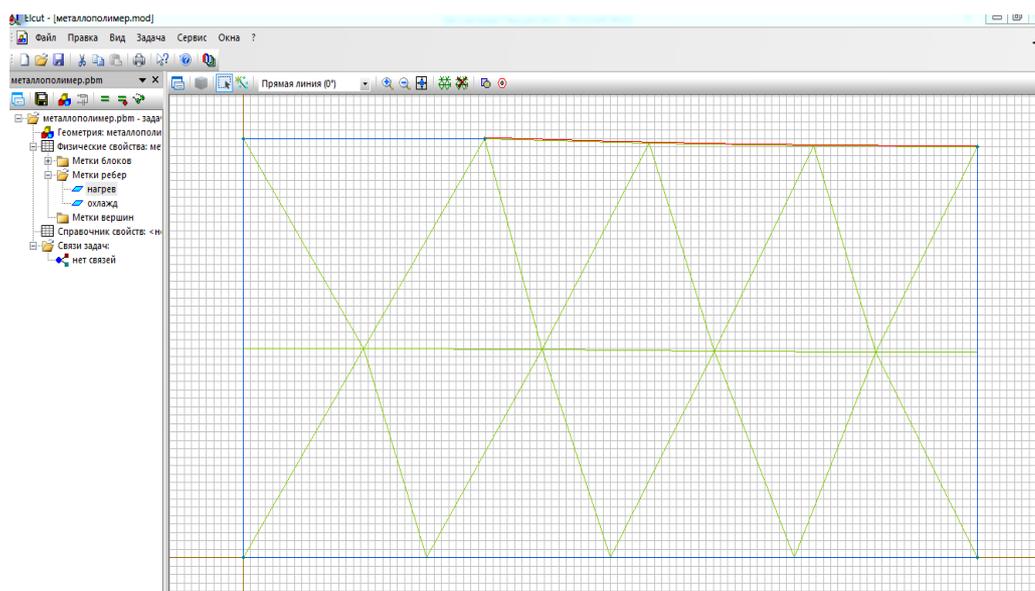


Рис. 3. Геометрическая модель шлифования металлополимера

Сами же результаты расчета методом конечных элементов и диаграммы температурных полей представлены на рис. 4. (глубина резания 0,1 мм, скорость резания 0,015 м/с.)

Необходимо отметить следующее наблюдение, так при моделировании нагрева комбинированного образца было установлено, что нагрев а)

металлополимера от металлической части образца затруднен, так как металл обладает более высоким коэффициентом теплопроводности по сравнению с металлополимером, именно поэтому в дальнейшем исследования комбинированного образца не проводилось, а все внимание было уделено металлополимерному образцу.

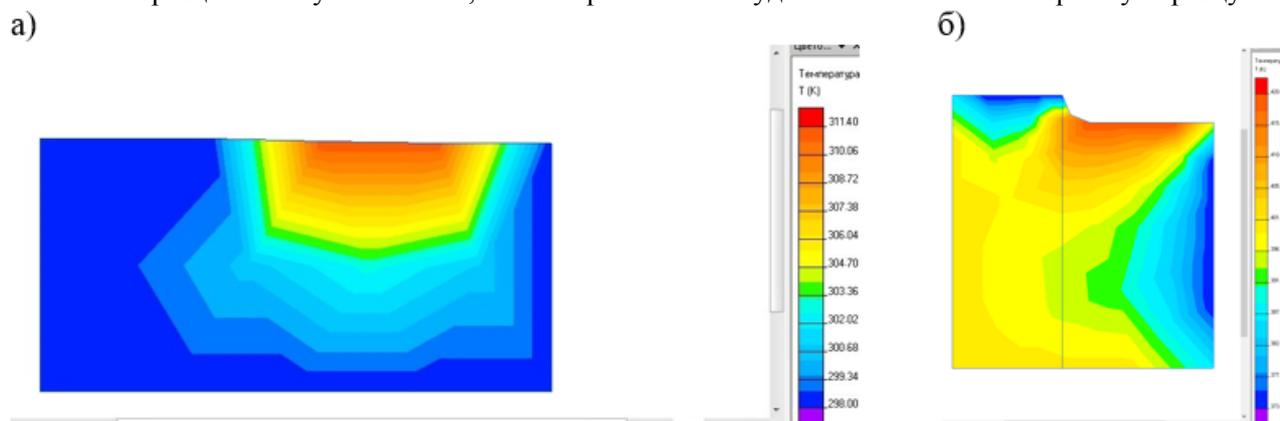


Рис. 4. Распределение температурных полей: а - металлополимерного образца; б - комбинированного металл-металлополимерного образца (левая часть модели металлополимер, правая металл)

Данные по исследованию металлополимерного образца были сведены в таблицу 4.

Таблица 4

Максимальное значение температуры металлополимера, °К.

		Глубина резания, мм									
		0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
Продольная подача стола м/с	0,015	299	301	304	307	309	310	311	311	312	311
	0,03	299	301	304	307	309	310	311	312	312	312
	0,045	300	302	304	307	309	311	312	312	312	312
	0,06	300	302	305	307	309	311	312	312	312	312
	0,075	300	302	305	307	309	311	312	312	312	312
	0,09	300	302	305	307	309	311	312	312	312	312
	0,105	300	302	305	308	309	311	312	312	312	312
	0,12	300	302	305	308	310	311	312	312	313	312
	0,135	300	302	304	307	309	311	312	312	312	312
	0,15	300	302	305	307	309	311	312	312	312	312
	0,165	300	302	305	307	309	311	312	312	312	312
	0,18	300	302	305	307	309	311	312	312	312	312
	0,195	300	302	305	308	309	311	312	312	312	312
	0,21	300	302	305	308	310	311	312	312	313	312
	0,225	300	302	305	308	310	311	312	313	313	313
	0,24	301	303	305	308	310	312	313	313	313	313
	0,255	301	303	306	309	311	312	313	313	314	313
	0,27	302	304	306	309	311	313	314	314	314	314
	0,285	302	304	307	310	312	313	314	314	315	314
	0,3	303	305	307	310	312	314	315	315	315	315
0,315	303	305	308	311	313	314	315	315	316	315	
0,33	304	306	308	311	313	315	316	316	316	316	
0,345	304	306	309	312	314	315	316	316	317	316	
0,36	305	307	309	312	314	316	317	317	317	317	
0,375	305	307	310	313	315	316	317	317	318	317	
0,39	306	308	310	313	315	317	318	318	318	318	
0,405	306	308	311	313	315	317	318	318	318	318	

Проведенные расчеты позволили получить номограммы (рис. 5) взаимосвязи температуры

металлополимера при плоском шлифовании периферией круга от глубины резания и подачи стола.

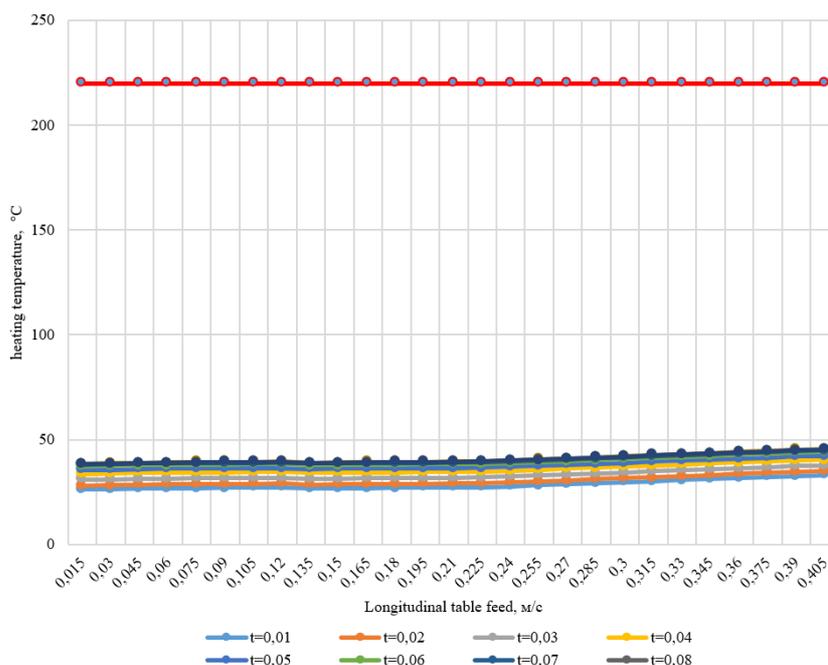


Рис. 5. Температуры металлополимера в зависимости от глубины резания и продольной подачи стола

Проведенные теоретические расчеты позволяют сделать вывод, что даже при максимальных значениях подачи и глубины резания, тех что позволяет диапазон регулирования станка и рекомендации при обработке стальной детали, металлополимерный темплет не нагревается до температуры деструкции матрицы, что могло бы привести к нарушению целостности детали и поменять его физико-механические свойства.

С целью обеспечения достоверности расчетных данных также был поставлен эксперимент по

шлифованию металлополимерного темплета на станке 3Б722 с теми же исходными данными, что были использованы для теоретических расчетов.

Обработка результатов эксперимента производилась с использованием программного продукта *SmartView 3.7.19.0*, позволяющего по кадрово производить анализ записанных данных (рис. 6), что несмотря на высокий градиент рассеивания тепла в зоне резания, всё же позволило зафиксировать достоверные данные.

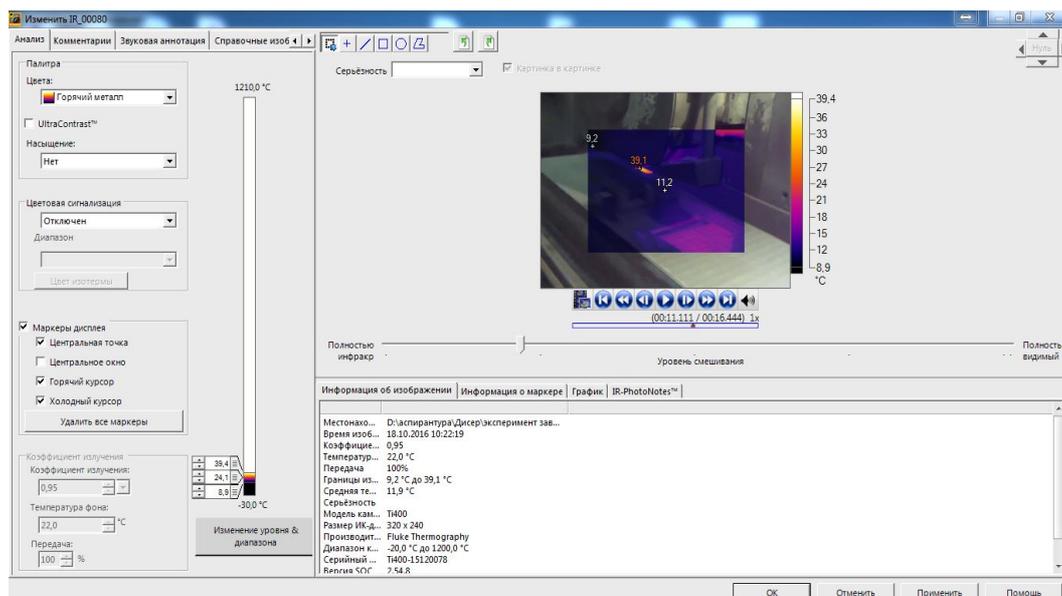


Рис. 6. Окно программы *SmartView 3.7.19.0* при обработке результатов эксперимента

Распределение температурных полей тепловизора *Ti400* показано на рис. 7.



Рис. 7. Распределение температурных полей при шлифовании металлополимерного образца

На рис. 7 можно видеть диаграмму распределения температур при шлифовании металлополимерного образца, со следующими режимами резания: продольная подача стола 13,5 м/мин, глубина резания 0,08 мм. Анализируя диаграмму

можно установить, что максимальная температура в зоне резания соответствует значению 39,1 °C. Проведя ряд замеров и обработав результаты эксперимента, получили следующие данные (табл. 5).

Экспериментальные значения температур металлополимера при шлифовании

		Глубина резания, мм		
		0,01	0,05	0,08
Продольная по- дача стола, м/с	0,045	26,6	35,7	38,8
	0,225	27,1	36,4	39,3
	0,405	32,6	41,9	45,1

Выводы. В исследовании были проведены теоретические расчеты и экспериментальные исследования, которые позволили установить, что на всем диапазоне изменения режимов резания при шлифовании металлополимерного образца температура в зоне резания при обработке металлополимера плоским шлифованием периферией круга не достигает критических значений, приводящих к разрушению его матрицы. Максимальная зарегистрированная температура составила 46°C, тогда как предельное значение температуры для металлополимера 220°C. Таким образом было доказано, что металлополимер возможно обработать на тех режимах резания которые устанавливаются технологом для обработки стальной детали и основной задачей, стоящей перед конструктором теперь будет являться назначение тех режимов резания из исследованного диапазона, которые обеспечат требуемую шероховатость и размерную точность формообразующей детали пресс-формы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абдуллин И.А. Композиционные материалы с полимерной матрицей: учебное пособие. Казань. Изд-во Казан. гос. технол. ун-та. 2006. С. 147.
2. Баурова Н.И., Зорин В.А. Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин: учебное пособие / Н.И. Баурова, В.А. Зорин. М.: МАДИ. 2016. 264 С.
3. Любимый Н.С., Чепчуров М.С., Минасова В.Е. Оптимизация параметров шлифования металлополимерной поверхности смыкания формообразующих деталей пресс-форм // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №7. С. 125–130.
4. Любимый Н.С., Чепчуров М.С., Аверченкова Е.Э. Обеспечение требуемой шероховатости поверхностей изделий из металлополимера, наполненного алюминием при обработке шлифованием // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №1. С. 162–168.
5. Любимый Н.С. Патент РФ № 188720. Металл-металлополимерная пресс-форма.

2018144087, заяв. 12.12.2018. опубл. 22.04.2019. Бюл. №12.

6. Кошин А.А., Сопельцев А.В. Исследование гранулометрического состава и микрогеометрических показателей абразивных зерен шлифовальных кругов, применяемых в обдирочном шлифовании // Вестник ЮУрГУ. 2010. №10. С. 77–82.

7. Лищенко Н.В., Ларшин В.П. Температура при шлифовании прерывистыми и высокопористыми кругами // Вектор науки ТГУ. 2015. № 3-1. С. 75–84.

8. Курдюков В.И., Андреев А.А. Сила резания и температура при шлифовании: учебное пособие. Курган. Изд-во Курганского гос. ун-та. 2013. С. 11.

9. Никитин С.П., Ханов А.М., Сиротенко Л.Д. Расчет теплового сопротивления элементов зоны резания при шлифовании теплозащитных покрытий // Современные проблемы науки и образования. 2014. №6. С. 118–120.

10. Штерензон В.А. Моделирование технологических процессов: конспект лекций. Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та. 2010. 66 с.

11. Дальский А.М., Суслов А.Г., Косилова А.Г., Мещеряков Р.К. Справочник технолога-машиностроителя. М.: Изд-во Машиностроение. 2003. 944 с.

12. Майникова Н.Ф., Жуков Н.П., Рогов И.В. Моделирование теплопереноса в полимерном материале при фазовом переходе // Вестник ТГТУ. 2008. №3. С. 490–494.

13. Лебедев С.М., Гефле О.С., Ткаченко С.Н. Диэлектрические и теплофизические свойства полимерных материалов с высокой диэлектрической проницаемостью // Пластические массы. 2010. № 12. С. 17–22.

14. Любимый Н.С., Чепчуров М.С., Костоев З.М. Исследование процессов получения комбинированных металл-металлополимерных формообразующих деталей пресс-форм заданного качества с применением аддитивных технологий: монография. Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2020. 140 с.

15. Герасимов М.Д. Способ получения направленных механических колебаний для практического применения в технологических процессах // Строительные и дорожные машины. 2014. №1. С. 35–38.

16. Bogdanov V.S., Romanovich A.A., Vorobyov N.D. Definition of rational conditions of materials grinding in energy-saving milling complex // World Applied Sciences Journal. 2013. Vol. 25. № 2. Pp. 214–221.

17. Venkatesh K., Bobji M.S., Biswas S.K. Power spectra of roughness caused by grinding of metals // Journals of Material Research. 2009. Vol. 14. Pp. 319–322.

18. Manrico V. Fabretto, Drew R. Evans, Michael Mueller and Kamil Zuber. Polymeric Material with Metal-Like Conductivity for Next Generation Organic Electronic Devices // Chemistry of Materials. 2012. Vol. 24. Pp. 3998–4003.

19. Liang J., Narahara H., Koresawa H., Suzuki H. Verification and evaluation of automatically designed cooling channels for block-laminated molds // UK: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2014. Vol. 75. Pp. 1751–1761.

20. Jeng Y.R., Liu D.S., Yau H.T. Fast numerical algorithm for optimization mold shape of direct injection molding process // USA: Materials and manufacturing processes. 2013. Vol. 6. Pp. 689–694.

Информация об авторах

Любимый Николай Сергеевич, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры подъемно-транспортных и дорожных машин. E-mail: nslubim@bk.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, Костюкова, д. 46.

Романович Марина Алексеевна, кандидат экономических наук, доцент кафедры подъемно-транспортных и дорожных машин. E-mail: bel31gm@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, Костюкова, д. 46.

Тихонов Александр Андреевич, магистрант. E-mail: cherep2240@gambler.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, Костюкова, д. 46.

Бабкин Максим Сергеевич, магистрант. E-mail: maks.babkin.2012@inbox.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, Костюкова, д. 46.

Поступила 14.09.2020 г.

© Любимый Н.С., Романович М.А., Тихонов А.А., Бабкин М.С., 2020

***Lubimyi N.S., Romanovich M.A., Tikhonov A.A., Babkin M.S.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: nslubim@bk.ru*

INVESTIGATION OF THE SURFACE TEMPERATURE OF A METAL-METAL POLYMER PART DURING FLAT GRINDING MACHINING

Abstract. *Knowing the exact heating temperature of a combined metal-metal polymer part when processing flat grinding helps to assign cutting modes, as well as predict the durability of the processed part. Accurate monitoring of the heating temperature of the part during flat grinding allows to understand whether the temperature degradation of the surface layers of the metal polymer occurs, which can reduce the durability of the processed part due to burns of the surface layers. At the same time, accurate determination of the temperature in the cutting zone gives an understanding of the need for the use of cooling lubricants, which can not always be used without additional research when processing metal polymers with a diene matrix. The study of the temperature in the cutting zone is necessary because of the lower degradation temperature of the metal polymer relative to the metal. This article examines the process of flat grinding of a combined metal-metal polymer part using theoretical calculations, the method of finite element analysis, and analytical evaluation of the results of the experiment. The temperature in the cutting zone is estimated for the part-forming plate of the mold, which dictated the choice of a certain range of cutting modes that allow to obtain the required roughness of the plane of closing of the forming part.*

Keywords: *metal polymer, metal-metal polymer, molds, casting, cutting depth, modeling, heating.*

REFERENCES

1. Abdullin I.A. Composite materials with a polymer matrix. [Kompozicionnye materialy s polimernoj matricej]. Kazan: Kazan state technol. Univ., 2006. 147 p. (rus)
2. Baurova N.I., Zorin V.A. The use of polymeric materials in the manufacture and repair of machines [Primenenie polimernyh kompozicionnyh materialov pri proizvodstve i remonte mashin]. M.: MARI, 2016. 264 p. (rus)
3. Lyubimiy N.S., Chepchurov M.S., Minasova V.E. Optimization of parameters for grinding the metal-polymer surface of the closing of forming parts of molds. [Optimizaciya parametrov shlifovaniya metallopolimernoj poverhnosti smykaniya formoobrazuyushchih detalej press-form]. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov. 2017. No 7. Pp. 125–130. (rus)
4. Lyubimiy N.S., Chepchurov M.S., Averchenkova E.E. Ensuring the required roughness of surfaces of products made of metal polymer filled with aluminum when processing by grinding. [Obespechenie trebuemoj sherohovatosti poverhnostej izdelij iz metallopolimera, napolnennogo aluminom pri obrabotke shlifovaniem]. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov. 2017. No 1. Pp. 162–168. (rus)
5. Lyubimiy N.S. Metal-metal polymer mold. Patent RF, no. 188720, 2019.
6. Koshin A.A., Sopel'cev A.V. Investigation of the granulometric composition and microgeometric characteristics of abrasive grains of grinding wheels used in rough grinding. [Issledovanie granulometricheskogo sostava i mikrogeometricheskikh pokazatelej abrazivnyh zeren shlifoval'nyh krugov, primenyaemyh v obdirochnom shlifovanii]. Bulletin of SUSU. 2010. No. 10. Pp. 77–82. (rus)
7. Lishchenko N.V., Larshin V.P. Grinding temperature with intermittent and highly porous wheels. [Temperatura pri shlifovanii preryvistymi i vysokoporistymi krugami]. TSU science vector. 2015. No. 3. Pp. 75–84. (rus)
8. Kurdyukov V.I., Andreev A.A. Cutting force and grinding temperature. [Sila rezaniya i temperatura pri shlifovanii]. Kurgan: KSU. 2013. 11 p. (rus)
9. Nikitin S.P., Hanov A.M., Sirotenko L.D. Calculation of the thermal resistance of the elements of the cutting zone when grinding heat-protective coatings. [Raschet teplovogo soprotivleniya elementov zony rezaniya pri shlifovanii teplozashchitnyh pokrytij]. Modern problems of science and education. 2014. No. 6. Pp. 118–120. (rus)
10. Shterenzon V.A. Process Modeling: Lecture Notes. [Modelirovanie tekhnologicheskikh processov: konspekt lekcij]. Ekaterinburg: RSPEU. 2010. 66 p. (rus)
11. Dal'skij A.M., Suslov A.G., Kosilova A.G., Meshcheryakov R.K. Handbook of a mechanical engineer. [Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelja]. M.: Mashinostroenie. 2003. 944 p. (rus)
12. Majnikova N.F., Zhukov N.P., Rogov I.V. Modeling heat transfer in a polymer material during phase transition. [Modelirovanie teploperenosa v polimernom materiale pri fazovom perekhode]. Bulletin of TSTU. 2008. No. 3. Pp. 490–494. (rus)
13. Lebedev S.M., Gefle O.S., Tkachenko S.N. Dielectric and thermophysical properties of polymeric materials with high dielectric constant. [Dielektricheskie i teplofizicheskie svojstva polimernyh materialov s vysokoj dielektricheskoj pronicaemost'yu]. Plastics. 2010. No 12. Pp. 17–22. (rus)
14. Favorite N.S., Chepchurov M.S., Kostoev Z.M. Investigation of the processes of obtaining combined metal-metal-polymer forming parts of molds of a given quality using additive technologies: monograph. [Issledovanie processov polucheniya kombinirovannyh metall-metallopolimernyh formoobrazuyushchih detalej press-form zadannogo kachestva s primeneniem additivnyh tekhnologij: monografiya]. Belgorod: BSTU named after V. G. Shukhov, 2020. 140 p. (rus)
15. Gerasimov M.D. Method of obtaining directional mechanical vibrations for practical use in technological processes. [Sposob polucheniya napravlennyh mekhanicheskikh kolebanij dlya prakticheskogo primeneniya v tekhnologicheskikh processah]. Construction and road machines. 2014. No. 1. Pp. 35–38. (rus)
16. Bogdanov V.S., Romanovich A.A., Vorobyov N.D. Definition of rational conditions of materials grinding in energy-saving milling complex. World Applied Sciences Journal. 2013. Vol. 25. No. 2. Pp. 214–221.
17. Venkatesh K., Bobji M.S., Biswas S.K. Power spectra of roughness caused by grinding of metals. Journals of Material Research. 2009. Vol. 14. Pp. 319–322.
18. Manrico V., Fabretto, Drew R., Evans, Michael Mueller and Kamil Zuber. Polymeric Material with Metal-Like Conductivity for Next Generation Organic Electronic Devices. Chemistry of Materials. 2012. Vol. 24. Pp. 3998–4003.
19. Liang J., Narahara H., Koresawa H., Suzuki H. Verification and evaluation of automatically designed cooling channels for block-laminated molds. UK: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2014. Vol. 75. Pp. 1751–1761.
20. Jeng Y.R., Liu D.S., Yau H.T. Fast numerical algorithm for optimization mold shape of direct injection molding process. USA: Materials and manufacturing processes. 2013. Vol. 6. Pp. 689–694.

Information about the authors

Lubimyi, Nikolai S. PhD, Engineering, Senior lecturer. E-mail: nslubim@bk.ru. E-mail: makskol97@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Romanovich, Marina A. PhD, Associate Professor. E-mail: bel31rm@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Tikhonov, Aleksandr A. Master's student. E-mail: cherep2240@rambler.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Babkin, Maxim S. Master's student. E-mail: maks.babkin.2012@inbox.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 14.09.2020

Для цитирования:

Любимый Н.С., Романович М.А., Тихонов А.А., Бабкин М.С. Исследование температуры поверхности металл-металлополимерной детали при механической обработке плоским шлифованием // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 10. С. 72–83. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-10-72-83

For citation:

Lubimyi N.S., Romanovich M.A., Tikhonov A.A., Babkin M.S. Investigation of the surface temperature of a metal-metal polymer part during flat grinding machining. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 10. Pp. 72–83. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-10-72-83