

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ, РАЗМЕРА И ПРОЦЕНТНОГО СОДЕРЖАНИЯ АРМИРУЮЩИХ ЧАСТИЦ НА СОСТАВЛЯЮЩИЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕ

Залеснов А.И.

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир, Россия (600000, г. Владимир, ул. Горького, 87), alexey_zalesnov@mail.ru

В данной статье рассматривается комплексное экспериментальное исследование определения составляющих сил резания (P_x , P_y , P_z) при точении композиционных материалов, упрочненных дисперсными частицами SiC, с применением разработанного автором стенда, состоящего из трехкомпонентного динамометра, подключаемого к лабораторному комплексу LabView, который осуществляет динамический контроль и запись данных с датчиков измерительного устройства. В ходе работы был создан виртуальный прибор с удобным интерфейсом для осуществления его управления. Измерительный стенд позволяет автоматически регистрировать данные, получаемые с датчиков в режиме реального времени. В ходе экспериментального исследования установлены зависимости между режимными параметрами точения композиционных материалов, упрочненных дисперсными частицами: скоростью резания, подачей на обороты глубиной резания, а также размера и процентного содержания наполнителя данных материалов относительно силовых характеристик обработки. В результате проделанной работы была построена эмпирическая математическая модель для определения составляющих сил резания при точении композиционных материалов алмазным инструментом.

Ключевые слова: композиционные материалы, алмазный инструмент, динамометр.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE TREATMENT REGIME, THE SIZE AND THE PERCENTAGE OF REINFORCING PARTICLES ON COMPONENT CUTTING FORCES IN TURNING COMPOSITES METAL MATRIX

Zalesnov A.I.

Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir, Russia (600000, Vladimir, Gorky street, 87) alexey_zalesnov@mail.ru

This article describes a comprehensive experimental study of determining the components of the cutting forces (P_x , P_y , P_z) for turning composites reinforced with fine particles of SiC, developed by the author with the use of the stand of the three-component dynamometer connected to the laboratory complex LabView, which provides dynamic control and data logging with sensors measuring device. The work was created by a virtual device with a friendly interface for its management. Measuring stand allows you to automatically record data received from the sensors in real time. In the pilot study established the relationship between operational parameters turning composites reinforced with dispersed particles: the cutting speed, feed per revolution and a depth of cut, and the amount and percentage of the aggregate of these materials with respect to the power handling characteristics. As a result of this work was built empirical mathematical model for determining the components of the cutting forces in turning composite diamond tool.

Keywords: composite materials, diamond tools, dynamometer.

Алюмоматричные композиционные материалы – это новый класс конструкционных материалов, отличающийся от традиционных металлов и сплавов комплексом более высоких механических и эксплуатационных свойств для трибосоединений [3; 5]. Их получают литьем в кокиль, прессованием по технологии порошковой металлургии. Для получения готовых изделий они должны подвергаться дополнительной механической обработке. Этот процесс недостаточно изучен и требует дополнительных исследований физических процессов, протекающих в зоне резания. Данное исследование посвящено одному из таких процессов,

который является одним из основных для определения режимных параметров обработки. Зная силы, действующие в процессе резания, можно рассчитать деформационные процессы в зоне формообразования, выбрать режущий инструмент и приспособления, определить мощность, затрачиваемую на резание, а также осуществлять рациональную эксплуатацию станка, инструмента и приспособлений [1].

В отечественных источниках отсутствуют систематические данные по обработке данного класса материалов, но имеются многочисленные публикации в зарубежных источниках. Например, в [6] изучено влияние режимных параметров на силу резания для чистовой и получистовой обработки алюминиевого композиционного материала с содержанием армирующего элемента SiC 5, 15, 20% и зернистостью 18–20 мкм. Режущий инструмент из карбида титана с геометрическими параметрами: передним углом $\gamma = 5^\circ$, задним $\alpha = 5^\circ$, радиусом скругления вершины $r = 0,06$ мм. При увеличении скорости резания $v = 20\text{--}80$ м/мин, с глубиной резания $t = 0,8$ мм и подачей $s = 0,08$ мм/об составляющая силы резания $P_z = 300\text{--}125$ Н, т.е. снижалась более чем в 2 раза. С увеличением подачи $s = 0,08\text{--}0,32$ мм/об при $v = 60$ м/мин, $t = 0,8$ мм, P_z возросла в два раза: от 160 до 320 Н.

Точение композитов на алюминиевой основе с 15%-ным содержанием SiC зернистостью 25 мкм алмазным инструментом с геометрическими параметрами: главным углом в плане $\varphi = 91^\circ$, $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 7^\circ$ и $r = 0,4$ мм показало, что также уменьшение силы P_z с увеличением скорости $v = 45\text{--}101$ м/мин, $P_z = 120\text{--}105$ Н при $t = 0,5$ мм, $s = 0,11$ мм/об при использовании в качестве СОТС водно-масляной эмульсии [7]. Аналогично изменение P_z при $s = 0,25$ мм/об – $P_z = 130\text{--}120$ Н.

Приведенные параметры обработки не соответствуют чистовым режимам, которые наиболее часто применяются при изготовлении деталей триботехники из металломатричных композиционных материалов, а также их состава. Это позволило выявить направление исследований, которые наиболее близко соответствуют реальным операциям механической обработки данного класса материалов.

В процессе резания на величину P_z , P_y и P_x влияют следующие факторы: обрабатываемый металл, глубина резания, подача, передний угол резца, главный угол резца в плане, радиус скругления режущей кромки резца, смазочно-охлаждающие жидкости, скорость резания и износ резца. В данной работе рассматривается влияние глубины резания t , подачи s и скорости резания v , а также состава наполнителя SiC от 5 до 10%, зернистостью 0,04 до 40 мкм. Исследования производилось на токарном станке с ЧПУ мод. HASSL10, с бесступенчатым регулированием частот вращения шпинделя и подачи при продольном точении. В качестве режущего инструмента применялись сменные вставки на основе поликристаллического алмаза АСПК-2 ТУ2-037-98-84 с геометрическими параметрами: $\varphi =$

45° , $\varphi_l = 15^\circ$, $\gamma = -5^\circ$, $\alpha = 7^\circ$ и $r = 0,5$ мм [2]. Охлаждение осуществлялось поливом масляно-водной эмульсией «Blasocut 2000», рекомендованной производителем станка.

Силы резания в исследовании измерялись с помощью экспериментальной установки, которая представлена на рис. 1, которая позволяет динамически отслеживать и фиксировать изменения силовых параметров процесса резания конструкционных материалов. Она состоит из следующих компонентов:

- динамометр, позволяющий измерять составляющие силы резания, в который входят: корпус, крышка, винты и датчики, преобразующие физическое явление в измеряемый сигнал (датчик усилия FSG15N1A фирмы Honeywell, позволяет измерять усилие до 45 Н);

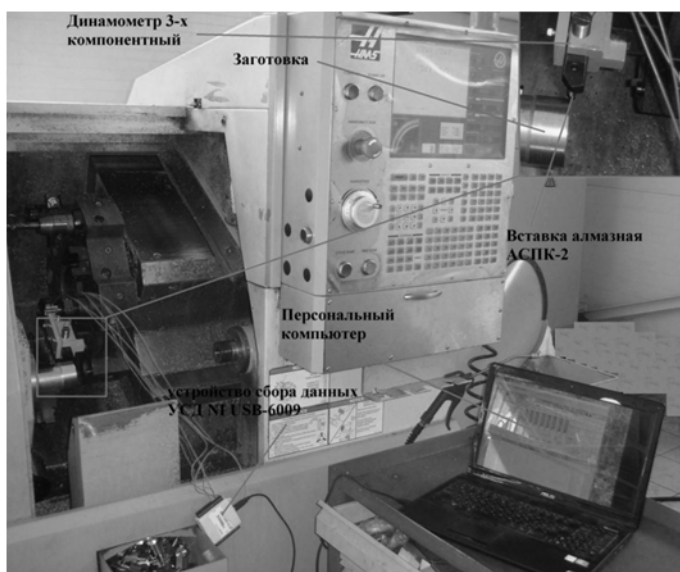


Рис. 1. Общий вид стенда для измерения сил резания.

- устройство сбора данных (УСД) National Instruments USB-6009, оно присоединяется к компьютеру посредством интерфейса full-speed USB и содержит восемь каналов ввода аналоговых сигналов (AI), два канала генерации аналоговых сигналов (AO), 12 каналов цифрового ввода/вывода (DIO) и 32-разрядный счетчик;

- персональный компьютер с установленным программным обеспечением LabVIEW фирмы

National Instruments (США), в котором был создан виртуальный прибор.

На рис. 2 приведена блок-диаграмма виртуального прибора по измерению температуры, разработанного автором для проведения эксперимента.

Виртуальный прибор рис. 2 состоит из пяти основных элементов, снабженных клавишами управления и объединенными в цикл.

Основные элементы (1–5) были выбраны из базы стандартных элементов LabVIEW. После выбора элемента выполнена его настройка. Так, например, для элемента ввода сигнала с УСД, сконфигурированного с помощью функции DAQ Assistant, задавали следующую информацию: количество каналов сбора сигнала, тип датчика, масштабирующие коэффициенты, диапазон изменения регистрируемого сигнала и частоту опроса датчиков. При использовании элементов NI-DAQmx редактировать конфигурационные параметры можно без изменения блок-диаграммы.

Показания датчиков FSG15N1A тарировались непосредственно на оборудовании путем сравнения пересчитанной через мощность силы, которую позволяет отследить технологическое оборудование.

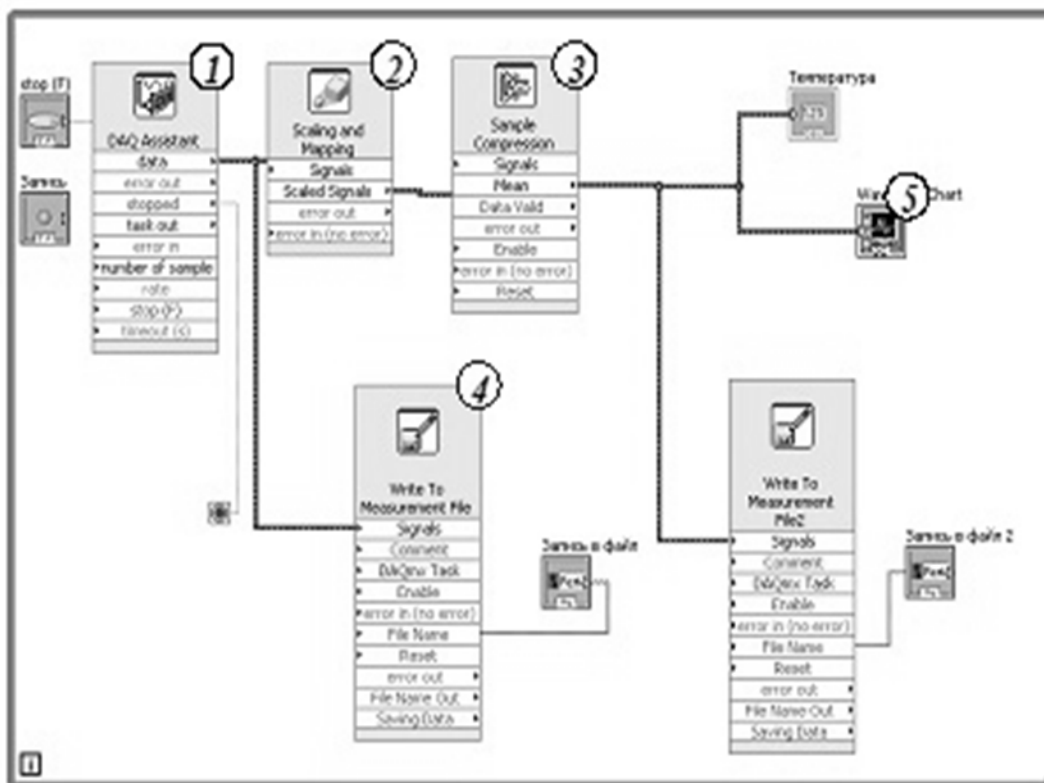


Рис. 2. Блок-диаграмма виртуального прибора по измерению силы резания:

- 1) элемент ввода сигнала с УСД;
- 2) элемент масштабирования сигнала;
- 3) элемент обработки данных;
- 4) элемент записи в файл;
- 5) элемент графического вывода полученных данных.

При реализации многофакторного эксперимента [4] учитывались следующие факторы, действующие на параметры оптимизации: скорость резания v варьировалась в интервале от 100 до 300 м/мин; подача на оборот s от 0,01 до 0,05 мм/об; глубина резания t от 0,1 до 0,5 мм. Данные приняты на основе стойкостных испытаний, проводимых при обработке композиционных материалов [2]. Состав наполнителя d варьировался от 0,04 до 40 мкм, с их процентным содержанием P от 5 до 10%. В качестве параметров оптимизации использовались $P_{x,y,z}$ – осевая, радиальная и тангенциальная составляющие силы резания.

Рассматривается задача построения линейной регрессионной модели по результатам экспериментально затабулированной функциональной зависимости, описывающей износ инструмента в процессе резания:

$$y = f(v, s, t, d, P), \quad (1)$$

где v – скорость резания (м/мин); s – подача на оборот (мм/об); t – глубина резания (мм); d – размер наполнителя композиционного материала (мкм); P – процентное содержание наполнителя композиционного материала.

Считаем, что функциональная связь выражается уравнением:

$$P_z, P_x, P_y = \left(\frac{v}{v_{\max}}\right)^{m_1} \left(\frac{s}{s_{\max}}\right)^{m_2} \left(\frac{t}{t_{\max}}\right)^{m_3} \left(\frac{d}{d_{\max}}\right)^{m_4} \left(\frac{P}{P_{\max}}\right)^{m_5}, \quad (2)$$

которое после логарифмирования и преобразования можно записать в виде:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_5 x_5 \quad (3)$$

где $y = \ln(P_z, P_x, P_y)$ – параметр оптимизации по наблюдениям в логарифмическом масштабе;

$x_1 = \ln v, x_2 = \ln s; x_3 = \ln t; x_4 = \ln d; x_5 = \ln P;$ – факторы.

В качестве плана проведения исследования был принят полнофакторный эксперимент типа 2^5 , что позволило одновременно исследовать процесс зависимости составляющих сил резания от 5 факторов.

Обработка результатов экспериментальных данных осуществлялась в среде Mathcad 14.0, с получением следующего уравнения регрессии:

$$P_z, P_x, P_y = e^{p_0} \left(\frac{x_1}{x_{1\max}}\right)^{p_1} \left(\frac{x_2}{x_{2\max}}\right)^{p_2} \left(\frac{x_3}{x_{3\max}}\right)^{p_3} \left(\frac{x_4}{x_{4\max}}\right)^{p_4} \left(\frac{x_5}{x_{5\max}}\right)^{p_5} \times$$

$$\left\{ \begin{aligned} & p_{12} \ln\left(\frac{x_1}{x_{1\max}}\right) \ln\left(\frac{x_2}{x_{2\max}}\right) + p_{13} \ln\left(\frac{x_1}{x_{1\max}}\right) \ln\left(\frac{x_3}{x_{3\max}}\right) + p_{23} \ln\left(\frac{x_2}{x_{2\max}}\right) \ln\left(\frac{x_3}{x_{3\max}}\right) + p_{14} \ln\left(\frac{x_1}{x_{1\max}}\right) \ln\left(\frac{x_4}{x_{4\max}}\right) + \\ & + p_{24} \ln\left(\frac{x_2}{x_{2\max}}\right) \ln\left(\frac{x_4}{x_{4\max}}\right) + p_{34} \ln\left(\frac{x_3}{x_{3\max}}\right) \ln\left(\frac{x_4}{x_{4\max}}\right) + p_{15} \ln\left(\frac{x_1}{x_{1\max}}\right) \ln\left(\frac{x_5}{x_{5\max}}\right) + p_{25} \ln\left(\frac{x_2}{x_{2\max}}\right) \ln\left(\frac{x_5}{x_{5\max}}\right) + \\ & + p_{35} \ln\left(\frac{x_3}{x_{3\max}}\right) \ln\left(\frac{x_5}{x_{5\max}}\right) + p_{45} \ln\left(\frac{x_4}{x_{4\max}}\right) \ln\left(\frac{x_5}{x_{5\max}}\right) + p_{123} \ln\left(\frac{x_1}{x_{1\max}}\right) \ln\left(\frac{x_2}{x_{2\max}}\right) \ln\left(\frac{x_3}{x_{3\max}}\right) + \\ & + p_{124} \ln\left(\frac{x_1}{x_{1\max}}\right) \ln\left(\frac{x_2}{x_{2\max}}\right) \ln\left(\frac{x_4}{x_{4\max}}\right) + p_{134} \ln\left(\frac{x_1}{x_{1\max}}\right) \ln\left(\frac{x_3}{x_{3\max}}\right) \ln\left(\frac{x_4}{x_{4\max}}\right) + p_{234} \ln\left(\frac{x_2}{x_{2\max}}\right) \ln\left(\frac{x_3}{x_{3\max}}\right) \ln\left(\frac{x_4}{x_{4\max}}\right) + \\ & + p_{125} \ln\left(\frac{x_1}{x_{1\max}}\right) \ln\left(\frac{x_2}{x_{2\max}}\right) \ln\left(\frac{x_5}{x_{5\max}}\right) + p_{135} \ln\left(\frac{x_1}{x_{1\max}}\right) \ln\left(\frac{x_3}{x_{3\max}}\right) \ln\left(\frac{x_5}{x_{5\max}}\right) + p_{235} \ln\left(\frac{x_2}{x_{2\max}}\right) \ln\left(\frac{x_3}{x_{3\max}}\right) \ln\left(\frac{x_5}{x_{5\max}}\right) + \\ & + p_{145} \ln\left(\frac{x_1}{x_{1\max}}\right) \ln\left(\frac{x_4}{x_{4\max}}\right) \ln\left(\frac{x_5}{x_{5\max}}\right) + p_{245} \ln\left(\frac{x_2}{x_{2\max}}\right) \ln\left(\frac{x_4}{x_{4\max}}\right) \ln\left(\frac{x_5}{x_{5\max}}\right) + p_{345} \ln\left(\frac{x_3}{x_{3\max}}\right) \ln\left(\frac{x_4}{x_{4\max}}\right) \ln\left(\frac{x_5}{x_{5\max}}\right) + \\ & + p_{1234} \ln\left(\frac{x_1}{x_{1\max}}\right) \ln\left(\frac{x_2}{x_{2\max}}\right) \ln\left(\frac{x_3}{x_{3\max}}\right) \ln\left(\frac{x_4}{x_{4\max}}\right) + p_{1235} \ln\left(\frac{x_1}{x_{1\max}}\right) \ln\left(\frac{x_2}{x_{2\max}}\right) \ln\left(\frac{x_3}{x_{3\max}}\right) \ln\left(\frac{x_5}{x_{5\max}}\right) + \\ & + p_{1245} \ln\left(\frac{x_1}{x_{1\max}}\right) \ln\left(\frac{x_2}{x_{2\max}}\right) \ln\left(\frac{x_4}{x_{4\max}}\right) \ln\left(\frac{x_5}{x_{5\max}}\right) + p_{1345} \ln\left(\frac{x_1}{x_{1\max}}\right) \ln\left(\frac{x_3}{x_{3\max}}\right) \ln\left(\frac{x_4}{x_{4\max}}\right) \ln\left(\frac{x_5}{x_{5\max}}\right) + \\ & + p_{2345} \ln\left(\frac{x_2}{x_{2\max}}\right) \ln\left(\frac{x_3}{x_{3\max}}\right) \ln\left(\frac{x_4}{x_{4\max}}\right) \ln\left(\frac{x_5}{x_{5\max}}\right) + p_{12345} \ln\left(\frac{x_1}{x_{1\max}}\right) \ln\left(\frac{x_2}{x_{2\max}}\right) \ln\left(\frac{x_3}{x_{3\max}}\right) \ln\left(\frac{x_4}{x_{4\max}}\right) \ln\left(\frac{x_5}{x_{5\max}}\right) \end{aligned} \right\}$$

$$\times \exp$$

С помощью метода наименьших квадратов получены следующие коэффициенты регрессии (табл. 1).

Таблица 1 – Коэффициенты регрессии

p_{0z}	p_{1z}	p_{2z}	p_{3z}	p_{4z}	p_{5z}	P_{12z}	P_{13z}
3,52223	-0,0309	0,66559	1,00018	0,009542	0,13665	-0,000145	0,000512
P_{23z}	P_{14z}	P_{24z}	P_{34z}	P_{15z}	P_{25z}	P_{35z}	P_{45z}
-0,000114	0,001479	-0,000498	-0,000542	-0,02999	-0,004401	0,006066	0,00476
P_{123z}	P_{124z}	P_{134z}	P_{234z}	P_{125z}	P_{135z}	P_{235z}	P_{145z}
0,000632	0,000162	-0,00037	-0,00136	-0,00672	0,00883	0,00377	-0,00164
P_{245z}	P_{345z}	P_{1234z}	P_{1235z}	P_{1245z}	P_{1345z}	P_{2345z}	P_{12345z}
0,000016	0,000057	0,00032	0,005938	0,000242	0,002552	-0,00144	0,001716
p_{0x}	p_{1x}	p_{2x}	p_{3x}	p_{4x}	p_{5x}	P_{12x}	P_{13x}
3.0915	0.07004	0.66562	1.00028	0.00958	0.136	-0.00175	-0.00197
P_{23x}	P_{14x}	P_{24x}	P_{34x}	P_{15x}	P_{25x}	P_{35x}	P_{45x}
0.00069	-0.00121	-0.00073	-0.00062	-0.02911	-0.00547	0.00353	0.00823
P_{123x}	P_{124x}	P_{134x}	P_{234x}	P_{125x}	P_{135x}	P_{235x}	P_{145x}

-0.00025	0.0000313	0.00043	-0.0011	-0.00957	0.0086	0.00049	0.00195
P_{245x}	P_{345x}	P_{1234x}	P_{1235x}	P_{1245x}	P_{1345x}	P_{2345x}	P_{12345x}
0.00131	0.00158	-0.00032	0.00207	0.00083	0.00397	-0.00004	0.00042
p_{0y}	p_{1y}	p_{2y}	p_{3y}	p_{4y}	p_{5y}	P_{12y}	P_{13y}
1,78171	0,03118	0,34302	0,99895	0,00853	0,1375	0,03887	0,00003
P_{23y}	P_{14y}	P_{24y}	P_{34y}	P_{15y}	P_{25y}	P_{35y}	P_{45y}
0,01375	-0,00274	0,00209	0,00605	-0,03008	0,02583	0,01494	0,00443
P_{123y}	P_{124y}	P_{134y}	P_{234y}	P_{125y}	P_{135y}	P_{235y}	P_{145y}
0,02731	0,00364	0,00262	0,00256	0,03535	0,03118	0,02143	-0,00353
P_{245y}	P_{345y}	P_{1234y}	P_{1235y}	P_{1245y}	P_{1345y}	P_{2345y}	P_{12345y}
0,00224	0,01621	-0,0007	-0,00985	0,00139	0,00286	0,00444	-0,00302

В результате обработки экспериментальных данных построены графики зависимости составляющих сил резания от размера и процентного содержания наполнителя материала, а также при замораживании факторов на максимальном, среднем и минимальном уровнях скорости резания, подачи на оборот, глубины резания (рис. 3, 4 и 5).

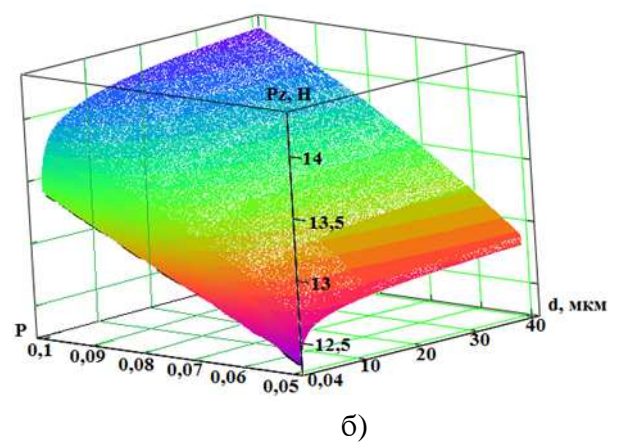
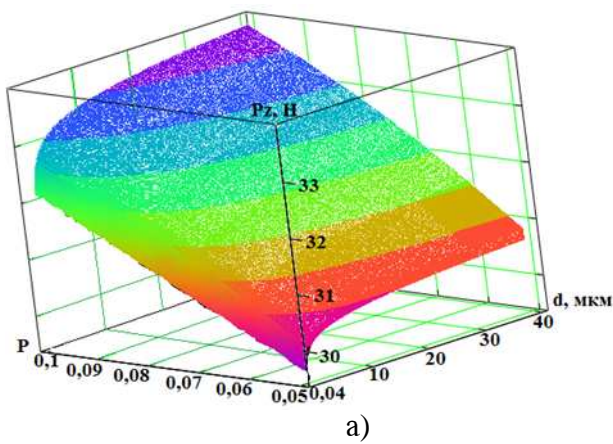
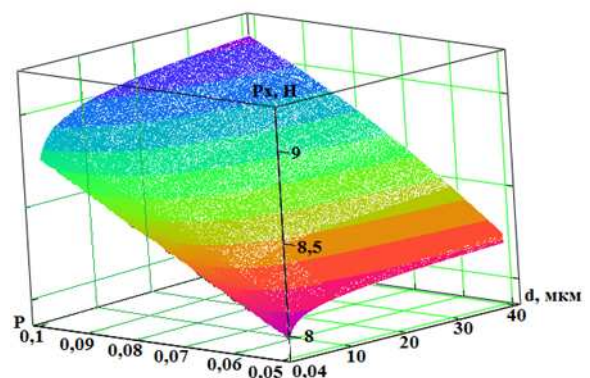
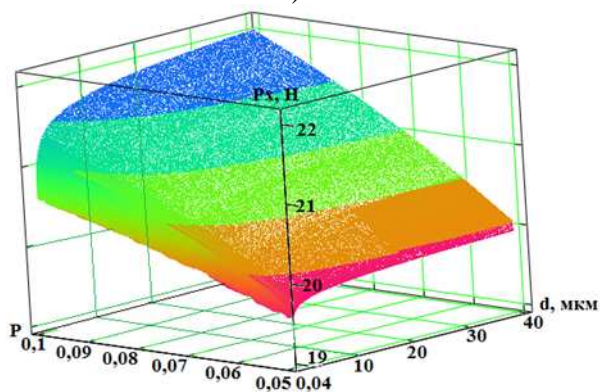
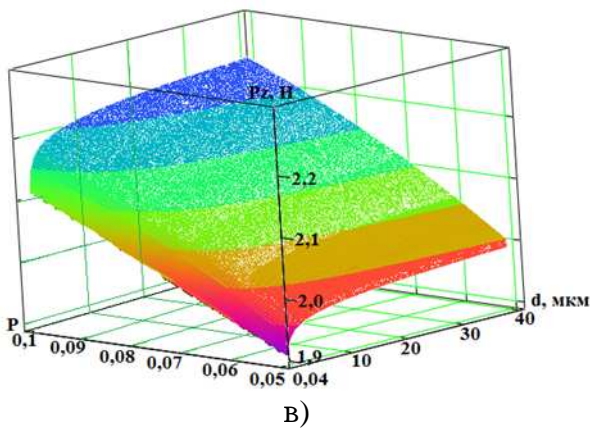
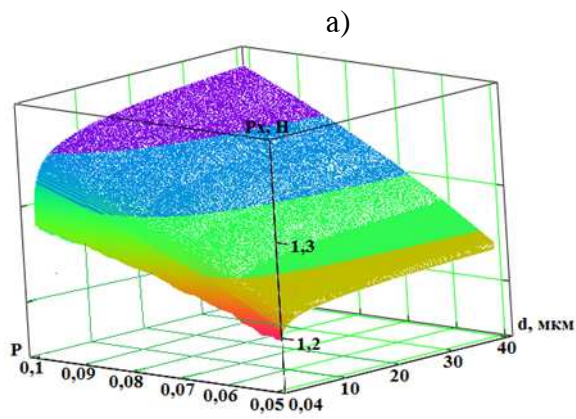


Рис. 3. Влияние размера наполнителя d и его долевого содержания на составляющую силы резания P_z :

а) $v=300$ м/мин, $s=0,05$ и $t=0,5$ мм; б) $v=200$ м/мин, $s=0,03$ и $t=0,3$ мм; в) $v=100$ м/мин, $s=0,01$ и $t=0,1$ мм.

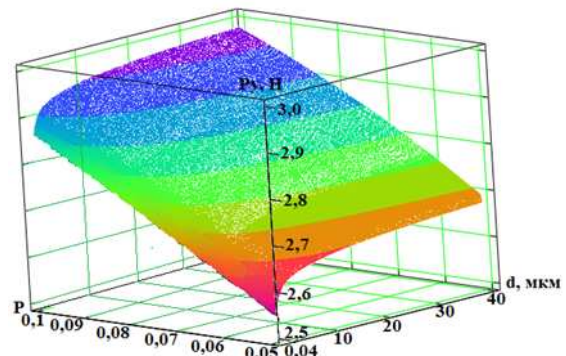
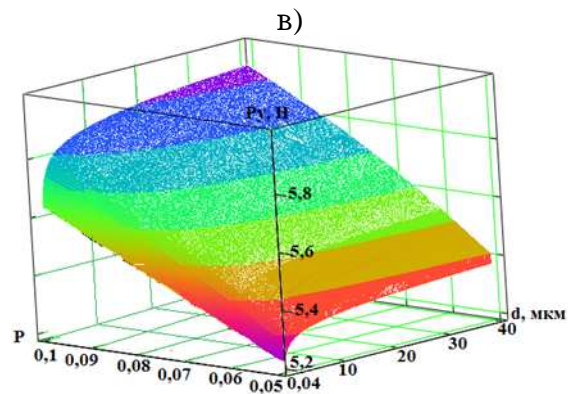




б)

Рис. 4. Влияние размера наполнителя d и его долевого содержания на составляющую силы резания P_x :

а) $v=300$ м/мин, $s=0,05$ и $t=0,5$ мм; б) $v=200$ м/мин, $s=0,03$ и $t=0,3$ мм; в) $v=100$ м/мин, $s=0,01$ и $t=0,1$ мм.



а)

б)

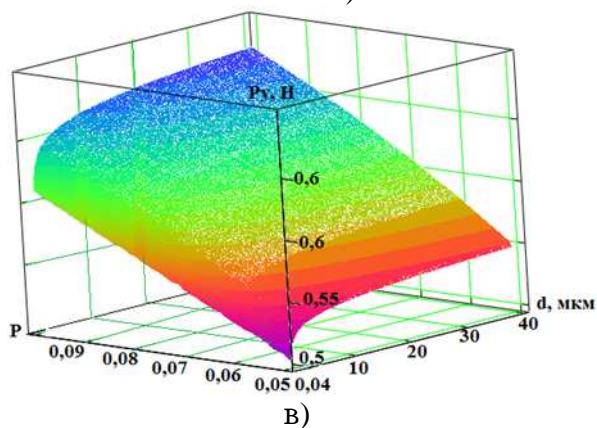


Рис. 5. Влияние размера наполнителя d и его долевого содержания на составляющую силы резания P_y :

а) $v=300$ м/мин, $s=0,05$ и $t=0,5$ мм; б) $v=200$ м/мин, $s=0,03$ и $t=0,3$ мм; в) $v=100$ м/мин, $s=0,01$ и $t=0,1$ мм.

Выводы

На основании проведенных экспериментальных исследований можно констатировать, что наиболее влияющим фактором на составляющие силы резания является глубина резания t , при её изменении от 0,1 до 0,5 мм, силы в среднем возрастают в 5–6 раз. Не менее важным режимным параметром является подача на оборот s , повышающая силы резания в 3 раза на используемых режимах. Менее значимым фактором является скорость резания v , при изменении скорости от 100 до 300 м/мин и варьировании параметрами s и t , осевая сила P_x изменяется не более чем на 10%, а изменение радиальной P_y и тангенциальной P_z составляющих не превышают 5%. Как показало исследование, размер и процентное

содержание наполнителя с их увеличением изменяет силы в большую сторону не более чем на 15%.

Список литературы

1. Васин С.А., Верещака А.С., Кушнер В.С. Резание материалов: термомеханический подход к системе взаимодействия при резании : учеб. для тех. вузов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 448 с.
2. Залеснов А.И., Петухов Е.Н. Износ режущих инструментов из сверхтвердых синтетических материалов при точении алюмоматричных композиционных материалов, упрочненных дисперсными частицами Al_2O_3 и SiC // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2007. – № 4/2 (288). – С. 51-55.
3. Панфилов А.А. [и др.] Новые алюмоматричные композиционные материалы, изготовленные в процессе in-situ // Тр. междунар. конф. «Теория и практика технологий производства изделий из композиционных материалов и новых металлических сплавов (ТПКММ)» 27-30 августа 2003. – М. : Знание, 2004. – С. 136-140.
4. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. – М. : Машиностроение, 1981. – 184 с.
5. Чернышова Т.А. [и др.] Дисперсно-наполненные композиционные материалы для пар трения скольжения // Конструкции из КМ. – 2007. – № 3. – С. 38-48.
6. Fathipour M., Zoghipour P., Tarighi J., Yousefi R. Investigation of reinforced sic particles percentage on machining force of metal matrix composite. – Modern Applied Science. – 2012. – Vol. 6. – № 8. – P. 9-20.
7. Shetty R., Pai R., Rao S.S. Reinforced aluminium composites under dry, oil water emulsion and steam lubricated conditions using TAGUCHI's technique. G.U. // Journal of Science. – 2009. – Vol 22 (1). – P. 21-32.

Рецензенты

Гоц А.Н., д.т.н., профессор кафедры тепловых двигателей и энергетических установок ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых», г. Владимир.

Кульчицкий А.Р., д.т.н., профессор, заместитель главного конструктора по испытаниям ООО «Владимирский моторо-тракторный завод», г. Владимир.