

Симуляция процесса тонколезвийной обработки сплавов из цветных металлов

Алексан Арзуманян, Тигран Мирвелян, Оганес Манукян

Национальный политехнический университет Армении, Гюмрийский филиал, Гюмри, Армения
arzal@yandex.ru, tabcd@mail.ru, mhovahness@yandex.ru

Аннотация- Для определения сил резания и температуры передней поверхности корундовой режущей пластины при тонколезвийной обработке цветных сплавов выбраны программные комплексы DEFORM3D и DEFORM2D, имеющие дополнительные модули Machining 3D и Machining 2D и специализированные для моделирования процессов механической обработки. Проведен сравнительный анализ полученных результатов с результатами полученных авторами традиционными методами исследований.

Ключевые слова: тонколезвийная обработка, корунд, режущая пластина, моделирование, оптимальные режимы.

I. ВВЕДЕНИЕ

Обработка металлов резанием в современном машиностроительном комплексе является одним из основных методов для обеспечения конкретных требований к точности и качеству обработанных поверхностей.

В настоящее время большое внимание уделяют развитию малого и среднего бизнеса и большое развитие получает производство деталей мелкими партиями в зависимости от спроса и требования потребителя. Определение рациональных режимов обработки для конкретных деталей требует значительных затрат времени, инструментальных и обрабатываемых материалов [1]. Компьютерное моделирование позволяет отказаться от дорогостоящих экспериментов, а также обеспечивает более точное принятие решений. На рынке информационных технологий существует большое количество систем, способных выполнять функции анализа и доработки, сокращать время конструирования узлов, изделий и т.д.[2].

Компьютерные имитационные модели позволяют оперативно производить вычислительные исследования, подбирать оптимальные режимы и параметры технологического процесса, которые значительно улучшают эффективность, точность и качество исследования.

Научно-технический прогресс в машиностроении и приборостроении требует создавать новые материалы и совершенствовать действующие

технологии для обработки этих материалов, к которым относятся цветные металлы и сплавы, составляющие необходимую часть деталей машин и приборов, обработка которых производится лезвийными инструментами.

Вышеуказанное требует от исследователей создания оптимальных условий для обработки материалов с использованием более дешевых, доступных и износостойких инструментальных материалов.

В настоящее время существует несколько методов для определения оптимальных режимов резания и оптимальных геометрических параметров режущей части инструмента. Это математическое планирование экспериментов, метод конечных элементов и различные математические методы моделирования процесса резания, программные комплексы и пакет программ.

Целью данного исследования является изучение изменения средней температуры в зоне резания при обработке алюминиевых и медных сплавов, а также определение сил резания при прерывистой обработке указанных материалов и сравнение с данными, полученными нами традиционными методами и методом математического планирование экспериментов.

II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для решения поставленной цели было проведено моделирование процесса резания в программном комплексе Deform2D и Deform3D. При моделировании процесса тонколезвийного фрезерования фрезами оснащенными пластинами из синтетического корунда, технологические условия варьировались следующим образом: скорость резания - $v = 100 \dots 700$ м/мин, подача - $s = 0.007 \dots 0.07$ мм/об, глубина резания $t = 0,01 \dots 0.2$ мм. Геометрические параметры режущих пластин: $\gamma = -6^\circ$, $\alpha = 6^\circ$, $\lambda = 3^\circ$, $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$, $r = 0.3$ мм. Режущая пластина имеет вид прямоугольного параллелепипеда. Во время симуляций был смоделирован только кончик реза так как глубина резания слишком мала и резец не полностью «работает» - это было сделано для того чтобы упростить работу программы, резец был смоделирован в программе Autocad после чего был сконвертирован в разрешение «.stl» так как

программа Deform3D работает именно с этим расширением.

III. ИССЛЕДОВАННЫЕ СРЕДНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ

Оценка средней температуры в зоне резания произведена посредством схемы, представленной на рис.1, основанный на методе естественной термопары. Для ее измерения составлена естественная термопара, которая состоит из двух заготовок 2, изготовленных из двух различных материалов и изолированных друг от друга, а также зажимного приспособления с тремя электроизоляционными прокладками 3.

В процессе фрезерования на месте изоляции заготовок образованная стружка входит в электрический контакт с материалом двух заготовок, образуя тем самым из них естественную термопару. Для повышения точности измерения температура свободных концов термопары поддерживалась на уровне 0°C, соответствующей температуре плавления чистого льда, полученного из дистиллированной воды. С этой целью, свободные концы термопары были погружены в отдельные стаканы с дистиллированной водой и плавающими в ней кусочками льда. Образованная в процессе резания в термопаре термоэдс, усиливалась посредством усилителя марки ТА-5 и подавалась на вход светолучевого лучевого осциллографа марки Н-700. В периоде с 2002-2009 г.г. эта термоэдс усиливалась посредством усилителя марки ЛА-УН16, имеющая функцию автоматической компенсации температуры свободных концов термопары, что позволило исключить стабилизацию температуры свободных концов термопары. Тарировку термопары производили посредством погружения стружек из материалов заготовок, составляющих естественную термопару, в расплавленную смесь цинка со свинцом, температура которой составляла 353,2°C. Характерные тарировочные графики для расшифровки осциллограммы приведены на рис.2.

На рис. 3 представлена двухпараметрическая зависимость температуры Θ на вершине резца от скорости резания изменяющейся в диапазоне от 88 до 703 м/мин, подачи изменяющейся в диапазоне от 0,007 до 0,07 мм/зуб и глубины резания в диапазоне

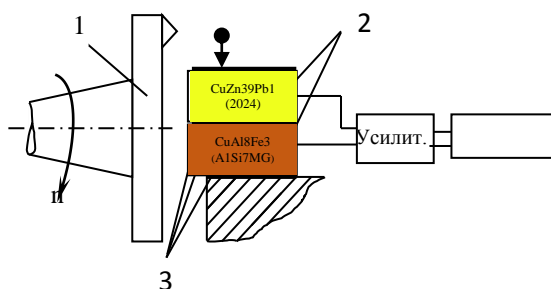


Рис. 1. Схема измерения средней температуры резания, 1- режущий инструмент, 2- заготовки, 3- изоляция

0,02 до 0,2 мм при обработке дуралюминия 2024 [3, 4].

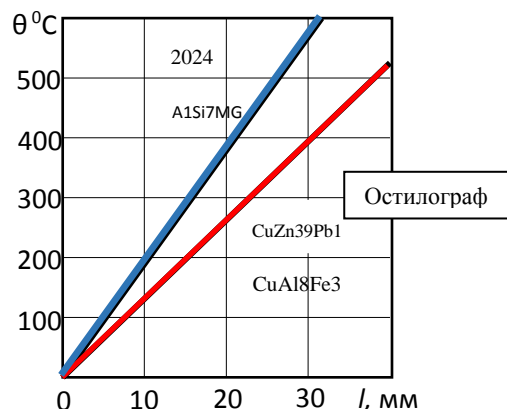


Рис. 2. Тарировочный график.

Экспериментами доказано, что с увеличением скорости резания и подачи увеличивается температура на вершине лезвия режущей пластины, что совпадает с расчетными данными. Расчеты проведены с использованием пакета Mathcad 2000 PROFESSIONAL. Таким образом, разработана методика определения температуры на вершине лезвия режущей пластины с учетом условий тонкой прерывистой обработки цветных металлов: свойств обрабатываемого и режущего материалов, геометрических параметров лезвия режущей пластины, режимов обработки.

Результаты расчетов, полученные при симуляции в Deform3D, показаны на рис.4. Во время симуляции было принято, что температура окружающей среды 20°C, коэффициент конвекции 0.02 Н/с/мм°C, коэффициент теплопередачи 45 Н/с/мм°C.

IV. ИЗМЕРЕНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИЛЫ РЕЗАНИЯ

В программе Deform3D при каждом шаге записываются составляющие силы резания по трем основным координатам и составляется график. Кроме графика также возможно сохранение данных в формате «.txt», где указывается при каком шаге получены значения сил резания. После этого при помощи программы Excel были рассчитаны средние силы резания для каждого режима отдельно и при помощи инструмента “Spline fit” программы Autocad был составлен график, аналогично методу составления графика температур.

Учитывая, что составляющая силы резания составляет всего 5...7% от силы резания, величина которой становится соизмеримой с погрешностью измерительных средств, ею пренебрегаем, что позволяет в дальнейшем упростить расчеты по определению оптимальных параметров обработки. Для измерения остальных двух составляющих сил резания использован специально изготовленный двухкомпонентный динамометр (рис. 5.).

Как было отмечено ранее, в процессе тонкой прерывистой обработки цветных металлов сила резания колеблется в пределах 20...25 Н, то жесткость чувствительного элемента была выбрана

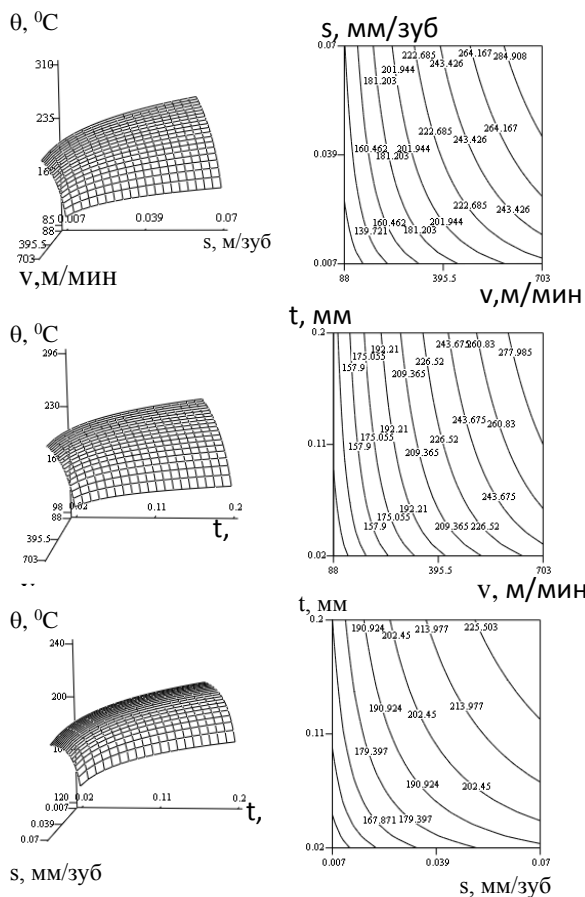


Рис. 3. Зависимость температуры резания от режимов фрезерования при обработке дюралюминия 2024.

из возможности измерения силы резания величиной до 100Н.

Динамометр состоит из упругого корпуса, на гранях которого наклеены четыре проволочных тензодатчика типа 2ПКБ-10-100Б, которые включены по полумостовой схеме, при этом с целью увеличения чувствительности измерительной схемы в каждом плече полумоста последовательно соединены по два тензодатчика. Разность потенциалов в измерительной диагонали между соответственными точками опоры и обрабатываемой детали (рис.5.), возникающая вследствие деформации тензодатчиков, усиливалась тензометрическим усилителем и регистрировалась многоканальным осциллографом.

Для измерения составляющих силы резания были использованы четырехканальный тензометрический усилитель марки ТА-5 и 12-ти каналный светолучевой осциллограф марки Н-700. Для записи на осциллографе использована ленточная фотобумага шириной 120 мм, где высота осциллограмм

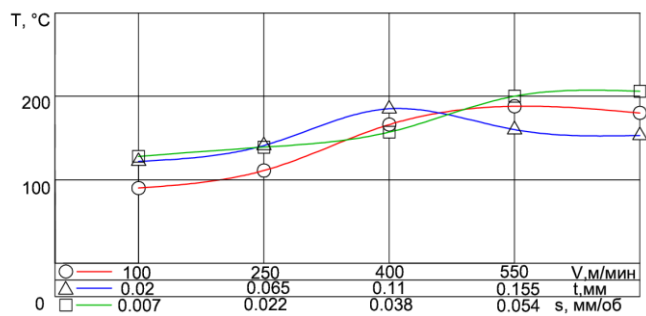


Рис.4 Зависимость средней температуры резания от режимов обработки.

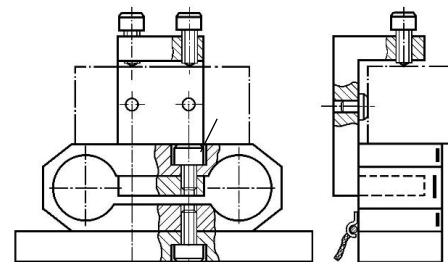
импульсов составляющих силы резания находилась в пределах 60...100мм. Измерения характерных величин этих осциллограмм осуществлялись посредством металлической линейки с ценой деления 1мм, вследствие которого погрешность расшифровки осциллограмм составила 1...1,6%.

Тарировка динамометра производилась непосредственно на станке перед каждой серией экспериментов статической нагрузкой, измеряемой посредством образцового динамометра с точностью $\pm 0,1H$. На рис. 6 приведены характерные тарировочные графики и осциллограммы, составляющих силы резания. Пунктирные линии на тарировочном графике отражают взаимовлияние составляющих сил резания, которые были в дальнейшем учтены для их перерасчета.

Регистрация составляющих силы резания, проведенная в период с 2002-2009 г.г., с помощью усилителя марки ЛА-УН16 и платы сбора данных марки ЛА 20 USB с компьютерными интерфейсами, отличающаяся точностью измерений не менее чем на один порядок, позволили уточнить ранее полученные результаты.

Определение рациональных режимов резания, обеспечивает максимум функционала объектов исследования в фазовом пространстве в зависимости от времени обработки

Это позволит получение максимальной производительности работы станка, а также будет способствовать снижению затрат на обработку. Считая, что для узкого интервала параметры резания не зависят от времени, запишем уравнение в следующем виде:



$$P_z = C_z v^{z_1} s^{z_2} t^{z_3}, P_y = C_y v^{y_1} s^{y_2} t^{y_3} \quad (1)$$

Рис.5 Двухкомпонентный динамометр.

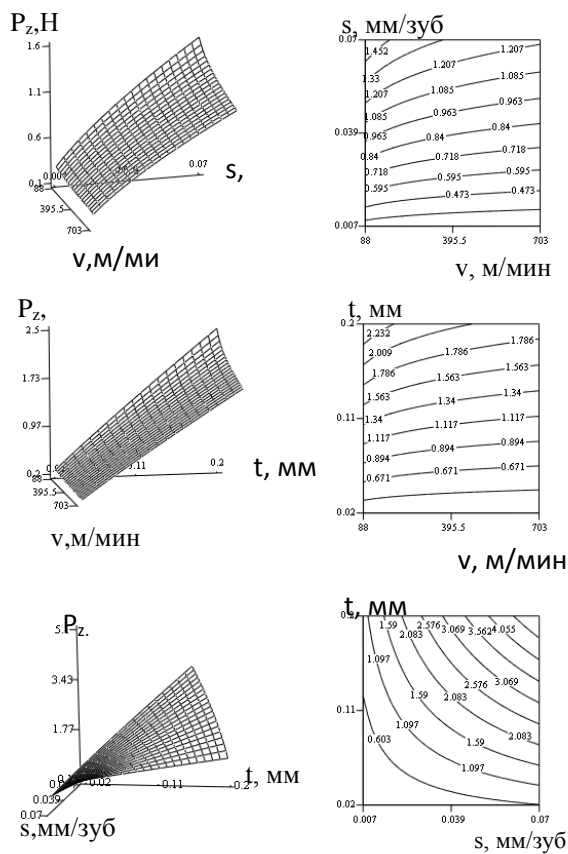


Рис. 6. Зависимость сил резания P_z от режимов обработки

На основе плана эксперимента типа 3^3 проведены эксперименты при рациональных значениях геометрических параметров режущей пластины. Обработывались бронза CuAl8Fe3, латунь CuZn39Pb1, дюралюминий 2024, медь С14200. Чтобы осуществить экспериментальные исследования при принятых режимах, нужно оценить режимы на трех уровнях. Уровни этих параметров и их комбинации выбраны исходя из пределов исследования работы.

Ниже, в табл. 1. приводятся эти коэффициенты и показатели степеней для всех режущих и обрабатываемых материалов. Проверки гипотезы, а также графики зависимостей P_z и P_y показывают, что режимы резания по-разному влияют на вышеуказанные объекты исследования.

Рассмотрим кривые, приведенные на рис.6,7, которые показывают влияние подачи на составляющие P_z и P_y . Анализ графиков показывает, что увеличение подачи в 10 раз вызывает повышение составляющей силы резания примерно от 3-х до 6-и раз. Увеличение толщины среза вызывает сравнительно меньшее повышение P_y . Необходимо отметить, что чем пластичнее материал, тем вышеприведенное положение более наглядно.

С увеличением глубины резания (см.рис. 6,7) составляющие силы резания увеличиваются, так как возрастает объем срезаемого слоя. Глубина

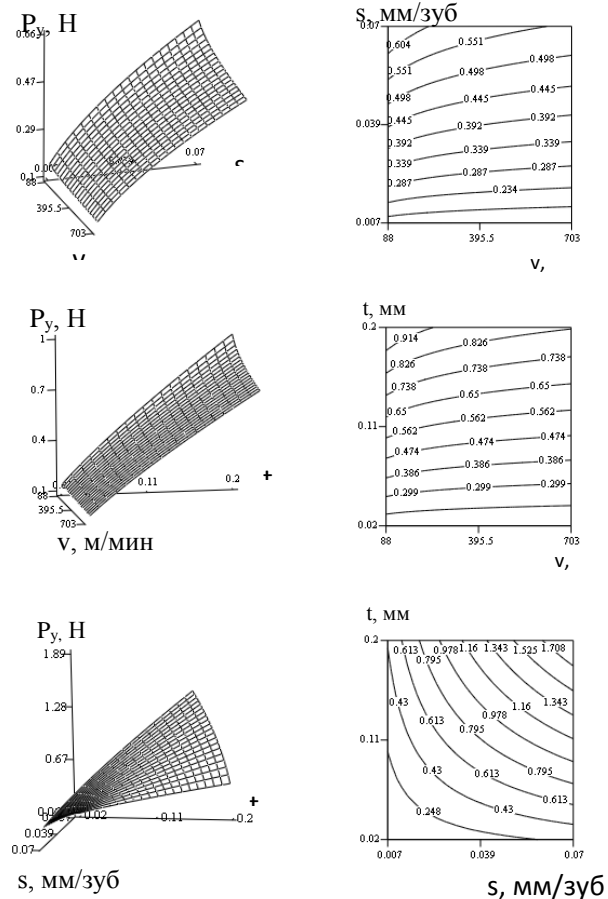


Рис. 7. Зависимость силы резания P_y от режимов обработки

резания оказывает большое влияние на силы резания в случае $t > s$. Если глубина резания меньше подачи, то влияние глубины на P_z и P_y намного меньше, чем влияние подачи.

Анализ результатов показывает, что при резании вязких материалов (С14200 и 2024), составляющие силы резания получаются большими. Это результат наблюдается при резании широкой фаски износа на режущей кромке инструмента. Отмечается, что при обработке вязких металлов с увеличением

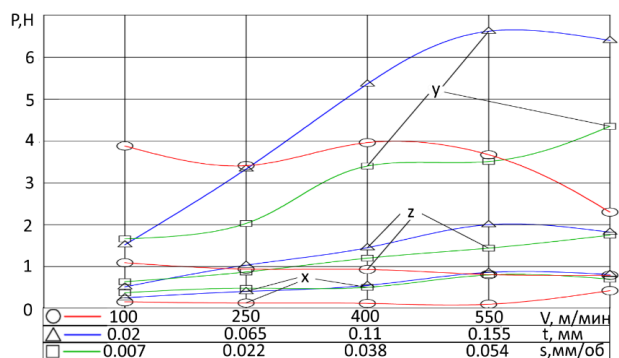


Рис.8. Зависимость сил резания от режимов обработки

ТАБЛИЦА 1

Значения коэффициентов и показателей степеней в формулах (1)

ширины среза начинают возрастать вибрации и

Коэф фициенты и показател и	Корунд			
	CuZn39Pb1	CuAl8Fe3	2024	C14200
C_z	283,3	195,8	304,4	373
z_1	-0,10	-0,09	-0,12	-0,12
z_2	0,70	0,68	0,73	0,73
z_3	0,90	0,88	0,93	0,93
C_y	55,6	41,7	63,1	86,9
y_1	-0,08	-0,07	-0,09	-0,10
y_2	0,62	0,60	0,63	0,65
y_3	0,81	0,80	0,83	0,85

поверхность получается волнистой. При обработке сравнительно твердых материалов (CuAl8Fe3 и CuZn39Pb1) вибрационные явления не наблюдались. В табл. 1 приведены значения коэффициентов показателей степеней в формулах (1).

Каждая комбинация обрабатываемых и режущих материалов дает новую информацию, что коренным образом изменяет представление о рациональных режимах резания и геометрии режущей части инструмента, установленного для данного обрабатываемого и режущего материала в отдельности. Для большей конкретности при некоторых комбинациях режущих и обрабатываемых материалов в табл. 5.7 приводятся рациональные значения параметров резания, которые в каждом конкретном случае отличаются друг от друга.

Кроме вышеуказанных сравнений величин нами также проведены сравнения геометрии режущей части пластины, износостойкости по задней грани инструмента, напряжения в режущей кромке пластины и т.д., которые в связи с ограничениями объема статьи не были представлены.

ВЫВОДЫ

1. Экспериментальными исследованиями установлено, что средняя температура при тонком фрезеровании латуни марки CuZn39Pb1 и дюралюминия марки 2024 при рациональных режимах резания не превышает соответственно 130...150°C и 140...170°C.

2. Сравнения результатов традиционных исследований средней температуры с результатами расчетов с помощью программного обеспечения показывают идентичность результатов.

3. В процессе тонкого резания корундовой пластинкой при оптимальных режимах резания и геометрии режущей части инструмента силы резания не превышают величины 20...25 Н, температура в зоне резания составляет 130...340 °С.

4. Было установлено, что силы резания очень сильно зависимы в основном от глубины резания.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Государственного комитета по науке МОН РА в рамках научного проекта NoSH15-006.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1]. Пушных В.А., Бибик В.Л. Сравнение двух методов расчета температуры резания/ Пушных В.А., Бибик В.Л./ Известия Томского политехнического университета, 2004, Т.307. N 3. -С. 102-103.
- [2]. Тарасов С.В., Свиршев В.И. Исследование температуры на передней поверхности режущего инструмента при точении чугуна “Низерист” / С.В.Тарасов, В.И. Свиршев/ “Известия Самарского научного центра РАН” Механика и машиностроение, 2014, том16, N 6(2). С.251-254.
- [3]. Арзуманян А., Манукян О.С. Математическое моделирование температурного поля при параметруправляемом процессе обработки материалов резанием. Вестник СГТУ. Саратов, № 2(24), выпуск 1, 2007, с. 27-31.
- [4]. Арзуманян А.М. Акопян С.А. Математическая модель переноса тепла при тонкой прерывистой лезвийной обработке металлов. Вестник инженерной академии Армении, том 5, № 1 Ереван, Ереван, 2008, с.537 – 540.
- [5]. Арзуманян А.М., Манукян О.С. Обеспечение оптимального уровня режимов обработки в зависимости от температуры резания и шероховатости обработанной поверхности. Вестник инженерной академии Армении. Сборник н/т статей, том I, № 4. Ереван 2004, с. 672-674.
- [6]. Арзуманян А.М. Оптимизация параметруправляемого процесса тонкого прерывистого резания цветных металлов “Технологические системы”, №5-6 (31-32), Киев, 2005.- С. 72-76.