



Общероссийский математический портал

В. В. Иванов, Разработка автоматизированного программно-аппаратного комплекса для интеллектуальной поддержки и оптимальной настройки гидроабразивных станков с числовым программным управлением,
Comp. nanotechnol., 2015, выпуск 2, 55–61

<https://www.mathnet.ru/cn39>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением
<https://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.14.84

21 мая 2025 г., 18:31:45



4.4. РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ И ОПТИМАЛЬНОЙ НАСТРОЙКИ ГИДРОАБРАЗИВНЫХ СТАНКОВ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Иванов Виктор Викторович, аспирант кафедры «Технология машиностроения», ассистент кафедры «Строительные и дорожные машины и оборудование». Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.». E-mail: viktor_ivanov_61@mail.ru

Предлагается процедура прогнозирования, оценки и организация эффективного технологического процесса по определению рациональных параметров обработки процесса гидроабразивного резания на основе компьютерного имитационного моделирования, что позволяет повысить производительность процесса гидроабразивного резания. Разработка информационной системы по повышению интенсификации технологического процесса гидроабразивного резания на основе имитационного моделирования с использованием методов объектно-ориентированного и структурного программирования.

Ключевые слова: имитационное моделирование, гидроабразивная резка, статистический анализ, объектно-ориентированное программирование, абразив, математическая модель

THE DEVELOPMENT OF AUTOMATED HARDWARE AND SOFTWARE SYSTEM FOR INTELLECTUAL SUPPORT, AND THE OPTIMUM HYDROABRASIVE MACHINES WITH CNC

Ivanov Viktor V., Postgraduate Department of Technology of Mechanical Engineering, a.P. Department of Building and Road Machines and Equipment. The Yuri Gagarin State Technical University of Saratov. E-mail: viktor_ivanov_61@mail.ru

Abstract: A procedure forecasting, evaluation and organization of an effective process to determine the rational parameters of treatment process waterjet cutting on the basis of computer simulation that can improve process performance waterjet cutting. Development of information system to improve the process of intensification of waterjet cutting on the basis of simulation modeling using object-oriented and structured programming

Index terms: simulation, waterjet cutting, statistical analysis, object-oriented programming, abrasive, mathematical model

В настоящее время в сфере машиностроения формируется производственная потребность в создании и промышленном изучении способов резания современных конструкционных материалов, которые обеспечивают повышение производительности, точности и качества поверхностей резания. К таким многообещающим процессам раскроя материалов относится гидроабразивное резание, осуществляемое на основе процесса разрушения при воздействии сверхзвукового потока жидкости и абразива. Гидроабразивная струя выполняет процесс резания при помощи ударного эффекта абразива об обрабатываемый материал, поэтому последовательность данного процесса включает в себя:

срез, эрозию, эффект микромеханической обработки и разрушение под воздействием быстроизменяющегося поля местных напряжений. В связи с этим в области гидроабразивного раскроя материалов существует ряд существенных недостатков:

1. Ввиду огромного количества работ по вопросам математического моделирования технологического процесса гидроабразивной резки, в настоящий момент отсутствует общий подход к ее исследованию. Существующие модели включают в себя, отдельные аспекты функционала конкретной технологической системы. Эти модели содержат мониторинг поведения отдельных аспектов технологической системы, обычно,

режущего инструмента – струя жидкости, которая связана с узкой производственной целенаправленностью.

2. Вместе с тем, гидродинамические параметры гидроабразивной струи снижаются, а именно уменьшается ее скорость, увеличивается распыл струи, все служит причиной к увеличению площади контактирования струи с обрабатываемой поверхностью и уменьшению удельного давления резания, интенсивному возрастанию энергоемкости процесса и снижению технологических параметров обработки в процессе гидроабразивной резки.

3. Отсутствие критериев выбора рациональных технологических параметров обработки в процессе гидроабразивного раскроя материала;

4. Расплывчатые и неточные представления о границах нормальных значений диапазоном варьирования исходных технологических параметров гидроабразивной обработки в каждой методике.

5. Отсутствие общепринятой информации по определению функциональных и корреляционных связей между различными основными параметрами технологического процесса гидроабразивной резки.

6. Отсутствие оптимального методологического подхода к исследованию процесса гидроабразивного резания посредством компьютерного имитационного моделирования с целью повышения производительности обработки материала.

7. Отсутствие методов и средств обеспечения по повышению производительности технологического процесса гидроабразивного резания.

8. Отсутствие информативной и технологической ценности для программной реализации математических моделей процесса гидроабразивного резания.

Вследствие чего, эти причины являются предпосылками к снижению показателей качества обрабатываемых материалов, что во многих случаях имеет первостепенное значение.

Поэтому разработка информационных систем для повышения эффективности технологического процесса гидроабразивного резания на основе имитационного моделирования с использованием методов объектно-ориентированного и структурного программирования, как одного из ценных методов обработки материалов является востребованной и актуальной задачей.

Таким образом, встает задача поиска оптимального методологического подхода к исследованию процесса гидроабразивного резания посредством математического моделирования с целью повышения производительности обработки материала, а именно создание имитационной модели процесса гидроабразивного резания [5].

Имитационная модель позволит получать информацию о результатах моделирования процесса гидроабразивного резания с учетом выбора режимных условий обработки, что открывает возможность прогнозировать и организовывать эффективный технологический процесс обработки материалов.

Программное обеспечение существующих в настоящее время гидроабразивных станков с ЧПУ позволяет получить в цифровом виде лишь общие характеристики траектории движения рабочего инструмента – гидроабразивной струи, которая связана с узкой производственной целенаправленностью. Стоит отметить, что программное обеспечение производителей отличается высокой стоимостью и не всегда справляется с возникающими в процессе резания технологическими ситуациями.

Предлагаемое программное обеспечение расширит возможности интенсификации процесса гидроабразивного резания, позволяя рассчитывать характеристики струи, основные параметры технологического процесса, устанавливать взаимосвязь их с конструктивными параметрами оборудования при известных их начальных значениях в любой точке струи и организовывать наиболее эффективный технологический процесс гидроабразивной обработки.

При разработке модели процесса гидроабразивной обработки использовались уравнения, позволяющие рассчитывать основные параметры технологического процесса и устанавливать взаимосвязь их с конструктивными параметрами оборудования при известных их начальных значениях в любой точке струи [1].

$$v_m = v_0 \left(\frac{1}{\rho_2 F} \frac{I_0}{A_2 + D_2 + (C_2 + E_2)} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

$$d_{cmp} = 0,44(H - R) \frac{B_2 + (0,5A_2 - C_2)K}{B_2 + (A_2 - C_2)K}, \quad (2)$$

$$h_{max} = k_m^{0,5} v_0 d \sqrt{\frac{\rho_2}{3k_d c \sigma_s} \cdot \frac{1}{\rho_1 F} \cdot \frac{I_0}{A_2 + D_2 + (C_2 + E_2)}}, \quad (3)$$

$$q = 1,9k_c \frac{d^3}{k_d^{\frac{3}{4}}} \left(k_m^{0,5} v_0 \sqrt{\frac{\rho_2}{3c \sigma_s} \cdot \frac{1}{\rho_1 F} \cdot \frac{I_0}{A_2 + D_2 + (C_2 + E_2)}} \right)^{\frac{5}{2}} \cdot \rho_0, \quad (4)$$

где

v_m – скорость на оси струи;

v_0 – начальная скорость струи;

ρ_2 – плотность частиц абразива;

F – площадь струи круглого сечения;

A_2, B_2, C_2, D_2, E_2 – коэффициенты;

R – внутренний радиус смесительной трубки сопла;

I_0 – импульс струи;

H – расстояние от сопла до обрабатываемой поверхности материала;

K – подача;

d_{cmp} – диаметр гидроабразивной струи у поверхности обрабатываемой детали;

k_m – коэффициент, учитывающий влияние соседних частиц при обработке;

v_0 – начальная скорость струи;

d – средний диаметр частицы абразива;

h_{max} – глубина внедрения частицы абразива в материал;

ρ_1 – плотность жидкости;

k_d – коэффициент, учитывающий влияние формы абразивной частицы на фактическую площадь контакта;

c – коэффициент, оценивающий несущую способность контактной поверхности;

σ_s – предел текучести материала детали,

q – съём металла за один удар абразивной частицы;

k_c – коэффициент стружкообразования;

k_m – коэффициент, учитывающий влияние соседних частиц при обработке;

ρ_0 – плотность материала детали.

Аналитические уравнения (1)-(4) позволяют рассчитывать основные параметры технологического процесса обработки: скорость, диаметр струи у поверхности обрабатываемой детали, глубину внедрения частиц абразива в материал, съём металла за один удар абразивной частицы.

С целью увеличения режущей способности и повышения производительности гидроабразивной резки, предложено закручивать гидроабразивную струю путем нарезания в смесительной трубке спиралеобразной канавки с шагом h [2, 8].

Уравнения (1)-(4) примут следующий вид:

$$v_m = v_0 \left(\frac{I_0}{\rho_1 F} \frac{1}{A_2 + \frac{k^2}{h^2} D_2 + \varphi_m \left(C_2 + \frac{k^2}{h^2} E_2 \right)} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (5)$$

$$d_{cmp} = 0,44(H - R) \frac{B_2 + \left[0,5 \cdot \left(A_2 + \frac{k^2}{h^2} D_2 \right) - \left(C_2 + \frac{k^2}{h^2} E_2 \right) \right] K}{B_2 + (A_2 - C_2)K}, \quad (6)$$

$$h_{max} = k_m^{0,5} v_0 d \sqrt{\frac{\rho_1}{3k_d c \sigma_s} \cdot \frac{I_0}{\rho_2 F} \cdot \frac{1}{A_2 + \frac{k^2}{h^2} D_2 + \varphi_m \left(C_2 + \frac{k^2}{h^2} E_2 \right)}}, \quad (7)$$

$$q = 1,9k_c \frac{d^3}{k_d^{\frac{3}{4}}} \left(k_m^{0,5} v_0 \sqrt{\frac{\rho_1}{3c \sigma_s} \cdot \frac{I_0}{\rho_2 F} \cdot \frac{1}{A_2 + \frac{k^2}{h^2} D_2 + \varphi_m \left(C_2 + \frac{k^2}{h^2} E_2 \right)}} \right)^{\frac{5}{2}} \cdot \rho_0, \quad (8)$$

где

φ_m – концентрация частиц абразива на оси струи;

k – поправочный коэффициент;

h – шаг канавки гидроабразивного сопла.

На основании системы аналитических уравнений [2, 6, 8], отображающих процесс гидроабразивной резки, основанный на закручивании струи рабочей жидкости и без закручивания струи (протекающий в обычных условиях) был разработан программный

комплекс «Jet of Hope», представленный на рисунке 1.

В процессе разработки программного комплекса «Jet of Hope» для прогнозирования результатов гидроабразивной резки в технологическом процессе обработки были использованы следующие инструментальные

средства: платформа Java, среда разработки NetBeans 6.8, язык программирования – Java. Мотивированный выбор инструментальных программных средств разработки в сфере информационных технологий обусловлен следующими причинами приведенными ниже [3, 4].

The screenshot shows the main form of the 'Jet of Hope' software. It features a grid of input fields for various parameters, organized into two columns. A blue button labeled 'Начать расчет' (Start calculation) is located at the bottom right.

Jet of Hope	
Текущий внутренний радиус водяного сопла, мм	Начальная скорость струи, мм/мин
Начальный весовой секундный расход жидкости, л/мин	Расстояние от сопла до обрабатываемой поверхности, мм
Начальный весовой секундный расход частиц, г/мин	Средний диаметр частиц абразива, мм
Начальная скорость струи в сопле, мм/мин	Плотность частиц абразива, г/мм ³
Концентрация частиц абразива на оси струи, м ⁻³	Коэффициент, оценивающий несущую способность контактной поверхности
Начальная скорость жидкости, м/с	Предел текучести материала детали, МПа
Начальная скорость примеси, м/с	Плотность материала детали, кг/мм ³
Начать расчет	

Рисунок 1. Главная форма программного комплекса «Jet of Hope»

В качестве платформы была выбрана Java – платформа в связи с тем, что она предназначена для транспортировки и выполнения высоко интерактивных, динамических и безопасных апплетов и приложений на системах сетевых компьютеров.

В качестве среды разработки была выбрана бесплатная интегрированная среда NetBeans 6.8 по следующим причинам:

- среда разработки NetBeans 6.8 является современным, гибким средством, предоставляющим удобные механизмы для быстрой разработки распределенных приложений;

- среда разработки NetBeans 6.8 предоставляет широкий набор компонентов для доступа к данным, что делает ее удобной для разработки приложений работающими с базами данных.

Java был выбран в качестве языка программирования по следующим приведенным причинам:

- универсальность языка Java – поддерживается возможность исполнения Java-приложений под управлением различных операционных систем;

- важной особенностью Java является возможность создания Web-серверных приложений на базе технологии страниц JSP;

- наличие большого количества документации по работе в среде;

- универсальность и работоспособность на различных платформах, таких как Windows, Linux, Unix, Solaris, MacOS.

Разработанный программный комплекс «Jet of Hope» предназначен для прогнозирования и организации наиболее эффективного технологического процесса гидроабразивной обработки.

Основными целями создания разрабатываемого программного комплекса «Jet of Hope» являются:

- выбор оптимального количества факторов;
- выявление латентной факторной модели;
- приведение полученных математических моделей процесса гидроабразивной резки, основанного на закручивании струи рабочей жидкости к простейшему алгоритмическому виду;
- исключение ошибок при проектировании (обеспечение охвата всех основных технологических параметров гидроабразивной обработки);

- ускорение процесса проектирования путем программной реализации.

Для достижения поставленных целей, создаваемая программа обеспечивает выполнение следующих функций:

- ввод, обработка, корректировка и хранение поступающей информации;
- выбор технологических параметров, предварительная обработка данных;
- визуализация и генерация отчёта.

Программный комплекс должен предоставлять пользователям интуитивно понятный интерфейс и мощный механизм для прогнозирования результатов и организации наиболее эффективного процесса гидроабразивной резки, чтобы избавить пользователя от дополнительных действий, которые он не всегда в состоянии выполнить. Для этого программный комплекс должен включать в себя модули, позволяющие производить предварительную обработку технологических параметров гидроабразивной обработки не запуская никаких дополнительных программ.

Архитектура разработанного программного комплекса «Jet of Hore», отображенная на рисунке 2, представляет собой модульное приложение, в состав которого входят следующие модули: модуль ввода исходных данных, модуль визуального редактирования (графический пользовательский интерфейс), модуль моделирования, модуль генерации и отображения отчетов.

Рассмотрим более детально каждый модуль программного комплекса «Jet of Hore».

Модуль ввода исходных данных обеспечивает возможность импорта (ввода) основных технологических параметров гидроабразивной обработки.

Модуль визуального редактирования обеспечивает прием данных, проверку ограничений на вводимые данные, обработку управляющей информации, доступ к отображению отчетов построен по типу трехуровневой архитектуры.



Рисунок 2. Структурная схема программного комплекса «Jet of Hore»

Модуль моделирования выполняет реализацию алгоритма в основании, которого положены системы аналитических уравнений, отображающие процесс гидроабразивной резки, основанный на закручивании струи рабочей жидкости и без закручивания струи (протекающий в обычных условиях).

Модуль генерации и отображения отчетов предназначен для предоставления информационного блока, отображающего выходные результаты процесса гидроабразивной резки.

При разработке программного комплекса использовались предложенные математические модели и алгоритмы обработки процесса гидроабразивной резки в сочетании с методами объектно-ориентированного и структурного программирования, что позволило расширить возможности интенсификации технологического процесса гидроабразивной резки основанного на закручивании струи рабочей жидкости [2, 8].

Главным преимуществом разработанного программного комплекса является возможность предварительного прогнозирования результатов и выдачу соответствующего информационного заключения или рекомендации процесса гидроабразивной обработки.

В таблице 1 представлен пробный расчет гидроабразивной резки без закручивания струи и с закручиванием струи. Расчет проведен при условиях: расстояния до поверхности обрабатываемого материала 3 мм, текущий радиус водяного сопла 0,127 мм, начальный весовой секундный расход жидкости расход воды 2 л/мин, начальный весовой секундный расход абразива 350 гр/мин.

Таблица 1

Пробные расчеты

Гидроабразивная резка	Скорость гидроабразивной струи круглого сечения v_m , мм/мин	Глубина внедрения частицы абразива в материал при гидроабразивной резке h_{max} , мм	Величина съема металла за один удар абразивной частицы q , мм
без закрутки струи	84,587	0,2	0,0007
с закруткой струи	75,583	0,217	0,0008

Отличительным признаком создаваемого программного продукта от имеющихся является выбор оптимальных параметров обработки для любой технологической ситуации и автоматический расчет режимов обработки с учетом физико-механических свойств обрабатываемого материала и основных параметров гидроабразивной струи при известных начальных значениях, что открывает возможность прогнозировать и организовывать эффективный технологический процесс обработки материалов [7].

Разработанный программный комплекс «Jet of Nore» [7] представляет интеллектуальную информационную систему по определению рациональных параметров процесса гидроабразивного резания включающий ввод и корректировку технологических параметров обработки, моделирование процесса резания, генерацию и отображение информационного блока о результатах моделирования процесса обработки.

Кроме того, функциональную взаимосвязь характеристик струи с конструктивными параметрами сопла при гидроабразивной обработке можно будет использовать при проектировании технологического оборудования.

Планируемая коммерческая перспектива использования программного продукта заключается в реализации в Российской Федерации и в создании и реализации программно-аппаратного комплекса, разработанного на ее основе, а также в оказании сервисных услуг по его сопровождению.

Предлагаемая разработка найдет применение в автоматизированных машиностроительных предприятиях оборонно-промышленного комплекса, также потенциальными потребителями продукции могут быть сферы обрабатывающих производств (машиностроение, химическая, авиационная промышленность и др.), где предъявляются высокие требования к прецизионности. Кроме того, разрабатываемый программный продукт целесообразно использовать в учебных целях при подготовке специалистов в области машиностроения, а именно в НИИ, ВУЗах.

Список литературы:

1. Абрамович Г. Н. Теория турбулентных струй. М.: ФИЗ МАТГИЗ, 1960.
2. Береда Н. Н., Иванов В. В., Решетников М. К., Шпилев В. В. Метод увеличения режущей способности гидроабразивной струи // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2011: сб. науч. тр. SWorld по материалам Междунар. науч.-практ. конф. Вып. 4. Т. 6. Одесса: Черноморье, 2011. С. 18-23.
3. Бишоп Д. Эффективная работа: Java 2. СПб.: Питер; К.: Издательская группа BHV, 2002. 592 с.
4. Вязовик Н. А. Программирование на Java. Курс лекций. М.: Intuit, 2003. 589 с.
5. Иванов В. В., Решетников М. К. Состояние вопроса моделирования технологического процесса гидроабразивной обработки // Глобальный научный потенциал. 2013. № 9 (30). С. 49-51.
6. Иванов В. В., Иванов С. В. Моделирование внедрения абразивной частицы в материал как поиск оптимального методологического подхода к разработке имитационной модели процесса гидроабразивной резки // Вестник развития науки и образования. 2014. №3. С. 90-95.
7. Иванов В. В., Решетников М. К., Тихонов А. В. Программный комплекс «Jet of Nore» для прогнозирования результатов гидроабразивной резки в технологическом процессе. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014617130, 14.07.2014 г.
8. Шпилев В. В., Решетников М. К., Береда Н. Н. Моделирование закручиваемой гидроабразивной струи при гидроабразивном резании // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. №2(56). С.163-168.

ОТЗЫВ

на статью аспиранта кафедры «Технология машиностроения», ассистента кафедры «Строительные и дорожные машины и оборудование» Иванова Виктора Викторовича на тему: «Разработка автоматизированного программно-аппаратного комплекса для интеллектуальной поддержки и оптимальной настройки гидроабразивных станков с числовым программным управлением»

В статье автор на основе большого фактического материала рассматривает проблему, затрагивающую вопросы моделирования технологического процесса гидроабразивной обработки на основе подробного анализа теоретических моделей данного процесса.

Актуальность статьи не вызывает сомнения, поскольку моделирование технологического процесса гидроабразивной обработки является важной проблемой в развитии научно-технической политики государства и структурного преобразования в сфере машиностроения.

В работе обосновывается необходимость и допустимость применения оптимального методологического подхода к исследованию процесса гидроабразивного резания посредством математического моделирования с целью повышения производительности обработки материала. Работа выполнена на высоком научном уровне, содержит ряд выводов, представляющих практический интерес.

Данная работа может быть рекомендована к конкурсу.

Доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Автоматизация, управление, мехатроника», декан машиностроительного факультета СГТУ имени Гагарина Ю. А.

А.А. Игнатьев