

## СОДЕРЖАНИЕ

### РОБОТЫ, МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

*Язан Вассуф, А.В. Тарасенко, Д. Осин, В.В. Серебряный*

Метод управления скоростью в системах помощи водителю с использованием активного управления подавлением помех..... 8

*И. Алфарви, В.А. Игнатъев*

Решение обратной кинематической задачи для манипулятора с шестью степенями подвижности ..... 17

*С.А. Собольников, Н.А. Куликов*

Детектирование и оценка положения удаленных вертикально расположенных осесимметричных объектов роботом по видеоизображению ..... 27

### ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

*Е.В. Артамонов, В.А. Василькович, М.О. Чернышов, Т.Е. Костив, М.Х. Утешев*

Повышение работоспособности сборных цилиндрических фрез за счет расположения многогранных пластин по винтовой линии с возможностью регулировки угла  $\omega$ ..... 36

*А.А. Верещака, Н.С. Баранова, Е.С. Сотова,*

*А.Е. Селезнев, К.М. Макаревич, С.А. Рябцев*

Исследование свойств наноструктурированного покрытия Ti-TiN-(Ti,Al,Cr)N с изменяющейся величиной периода модуляции в износостойком слое ..... 44

*Тет Хаинг Со, Я.Р. Мелешкин, А. Смирнов, Н.В. Солис Пинарготе*

Физико-механические свойства спеченных композитов SiC-TiB<sub>2</sub>-TiC методом искрового плазменного спекания ..... 56

*К.И. Шлаев, Ф.С. Сабиров*

Вибродиагностика технического состояния угловых фрезерных головок..... 68

*А.В. Исаев, М.С. Николаев*

Анализ моделей износа режущего инструмента, используемых для имитации обработки труднообрабатываемых материалов сборными фрезами в системах инженерного анализа ..... 75

## ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

*В.А. Тимирязев, В.И. Левчук, И.В. Авдюшин*

Выявление и расчет размерных связей механизма для определения методов достижения точности при его сборке и точности размеров комплектующих деталей ..... 87

*И.П. Дерябин, А.С. Токарев*

Экспериментальное исследование адекватности математических моделей расчета увода оси при рассверливании отверстий двухлезвийным сверлом..... 96

## ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

*А.А. Мышечкин, В.В. Зуев, Е.В. Преображенская, С.В. Скрипник*

Исследование цифровым моделированием процесса горячей объемной штамповки поковок с глубокими полостями и обратным конусом..... 108

## АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

*Ю.В. Галыкин, В.П. Дашевский*

Автоматизация производства приборных корпусов с применением специализированного станка с ЧПУ для изготовления крепежных брусков ..... 119

*А.В. Быкова, А.В. Капитанов*

Анализ CRM-систем и формирование структуры архитектурного решения автоматизированной CRM-системы для машиностроительного производства..... 129

*В.С. Тынченко, С.О. Курашкин, Е.В. Шуткина*

Математическое моделирование индукционного нагрева для повышения эффективности управления процессом индукционной пайки волноводных трактов космических аппаратов..... 138

*Д.И. Кулизаде, О. Альакхрасс*

Исследование характеристик вибрации и шума сверлильно-фрезерного станка JET JMD-45LPFD..... 150

*А.С. Далечин, А.Н. Феофанов*

Разработка модели подсистемы автоматизированной компоновки агрегатного станка на примере корпусных деталей с целью уменьшения трудоемкости проектирования технологического оборудования..... 159

**CONTENTS**

**ROBOTS, MECHATRONICS AND ROBOTIC SYSTEMS**

*Yazan Wassouf, A.V. Tarasenko, D. Osin, V.V. Serebrenny*  
A method of speed control in driver assistance systems using active disturbance rejection control..... 8

*I. Alfarwi, V.A. Ignatiev*  
Solution of the inverse kinematic problem for a manipulator with six degrees of freedom ..... 17

*S.A. Sobolnikov, N.A. Kulikov*  
Distant axisymmetric vertical objects detection and pose estimation by robot using a video image ..... 28

**TECHNOLOGY AND EQUIPMENT OF MECHANICAL AND PHYSICAL-TECHNICAL PROCESSING**

*E.V. Artamonov, V.A. Vasilkovich, M.O. Chernyshov, T.E. Kostiv, M.Kh. Uteshev*  
Increasing the performance of prefabricated cylindrical mills due to the position of multigedged plates on a helical line with the possibility of adjusting the angle  $\omega$  ..... 36

*A.A. Vereschaka, N.S. Baranova, E.S. Sotova, A.E. Seleznev, K.M. Makarevich, S.A. Ryabtsev*  
Investigation of the properties of a nanostructured Ti-TiN-(Ti,Al,Cr)N coating with a variable modulation period in a wear-resistant layer ..... 44

*Thet Naing Soe, Y.R. Meleshkin, A. Smirnov, N.W. Solis Pinargote*  
Physical and mechanical properties of sintered composites SiC-TiB<sub>2</sub>-TiC by spark plasma sintering method..... 56

*K.I. Shlaev, F.S. Sabirov*  
Vibroacoustic diagnostics of the technical condition of angular milling heads..... 68

*A.V. Isaev, M.S. Nikolaev*  
Analysis of models of wear used for simulation of machining difficult-to-cut materials with indexed milling cutters in CAE software..... 75

## TECHNOLOGY OF MACHINE BUILDING

*V.A. Timiryazev, V.I. Levchuk, I.V. Avdyushin*

Identification and calculation of dimensional relationships of a mechanism to determine methods for achieving accuracy during its assembly and dimensional accuracy of component parts..... 87

*I.P. Deryabin, A.S. Tokarev*

Experimental study of the adequacy of mathematical models for calculating axis drift when drilling holes with a two-blade drill bit..... 96

## TECHNOLOGIES AND MACHINES FOR PRESSURE PROCESSING

*A.A. Myshechkin, V.V. Zuev, E.V. Preobrazhenskaya, S.V. Skripnik*

Digital simulation study of hot bulk forging process with deep cavities and reverse cone..... 108

## AUTOMATION AND CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND PRODUCTIONS

*Yu.V. Galykin, V.P. Dashevsky*

Automation of the manufacturing of device enclosures using a specialized CNC machine for the production of fastening bars..... 119

*A.V. Bykova, A.V. Kapitanov*

Analysis of CRM systems and development of the automated CRM system architecture at the machine-building enterprise..... 129

*V.S. Tynchenko, S.O. Kurashkin, E.V. Shutkina*

Mathematical modeling of induction heating to improve the efficiency of control of the induction soldering process of waveguide paths of spacecraft..... 138

*D.I. Kulizade, U. Alakhrass*

Research of vibration and noise characteristics of JET JMD-45LPFD drilling and milling machine..... 150

*A.S. Dalechin, A.N. Feofanov*

Development of the subsystem model of automated layout of rotary transfer machine on the example of body parts in order to reduce the complexity of designing technological equipment..... 159

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 1 (68). С. 8–16.

УДК 629.336

Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No. 1 (68). P. 8–16.

**Язан Вассуф**<sup>1,2</sup>✉, **А.В. Тарасенко**<sup>2,3</sup>, **Д. Осин**<sup>2,4</sup>, **В.В. Серебряный**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана; <sup>2</sup> ООО «ИЦ «КАМАЗ»; <sup>3</sup> МАИ; <sup>4</sup> Московский политехнический университет

✉ Автор для корреспонденции

## МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ В СИСТЕМАХ ПОМОЩИ ВОДИТЕЛЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДАВЛЕНИЕМ ПОМЕХ

### Аннотация

В данной статье объектом исследования является управление скоростью в системе помощи водителю. Система помощи водителю представляет собой способ оптимизации поведения водителя с целью уменьшения количества потенциально опасных ситуаций на дороге. Метод активного управления подавлением помех (АУПП) используется для проектирования контроллеров для систем с неизвестной динамикой и внешними помехами, такими, как изменение массы транспортного средства и изменения дорожной обстановки. Основной принцип работы метода заключается в адаптивном изменении параметров регулятора в зависимости от условий работы системы. В работе рассматривается применение метода активного подавления помех для управления транспортным средством (ТС), поскольку основная проблема существующих методов заключается в малой адаптивности системы к изменяющимся дорожным условиям или отсутствию адаптивности. Работа выполнена в математическом пакете Matlab, а испытания проведены для транспортных средств с различной массой. Результаты проведенных исследований показывают, что метод применим к системе управления скоростью транспортного средства, несмотря на имеющиеся неопределенности в модели или при изменении массы ТС.

**Ключевые слова:** системы помощи водителю, метод активного управления подавлением помех, автомобильная мехатроника, динамическая модель транспортного средства, робастное управление скоростью.

**Для цитирования:** Вассуф Язан, Тарасенко А.В., Осин Д., Серебряный В.В. Метод управления скоростью в системах помощи водителю с использованием активного управления подавлением помех // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 1 (68). – С. 8–16.

*Yazan Wassouf*<sup>1,2</sup> ✉, *A.V. Tarasenko*<sup>2,3</sup>, *D. Osin*<sup>2,4</sup>, *V.V. Serebrenny*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bauman Moscow State Technical University; <sup>2</sup> LLC “IC “KAMAZ””; <sup>3</sup> MAI, <sup>4</sup> Moscow Polytechnic University

✉ Corresponding author

## A METHOD OF SPEED CONTROL IN DRIVER ASSISTANCE SYSTEMS USING ACTIVE DISTURBANCE REJECTION CONTROL

### Abstract

In this article, the object of research is speed control in the driver assistance system. The driver assistance system is a way to optimize driver behavior in order to reduce the number of potentially dangerous situations on the road. The active disturbance rejection control (ADRC) method is used to design controllers for systems with unknown dynamics and external interference, such as: changes in vehicle weight, and changes in road conditions. The basic principle of the method is to adaptively change the parameters of the regulator depending on the operating conditions of the system. The paper considers the application of ADRC for vehicle control, since the main problem of existing methods is the low adaptability of the system to changing road conditions or the lack of adaptability. The work was performed in the Matlab mathematical package, and tests were carried out for vehicles with different weights. The results of the conducted research show that the method is applicable to the vehicle speed control system, despite the existing uncertainties in the model or when changing the mass of the vehicle.

**Keywords:** advanced driver assistance systems (ADAS), active disturbance rejection control (ADRC), mechatronics of vehicle, dynamic vehicle model, robust speed control.

**For citation:** Wassouf Yazan, Tarasenko A.V., Osin D., Serebrenny V.V. A method of speed control in driver assistance systems using active disturbance rejection control // Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No 1 (68). P. 8–16. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 1 (68). С. 17–26.

УДК 004.896

Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No. 1 (68). P. 17–26.

**И. Алфарви<sup>✉</sup>, В.А. Игнатьев**

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

<sup>✉</sup> Автор для корреспонденции

## РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ МАНИПУЛЯТОРА С ШЕСТЬЮ СТЕПЕНЯМИ ПОДВИЖНОСТИ

### Аннотация

В данной статье представлен алгоритм решения обратной задачи кинематики манипуляционного робота. Алгоритм строится с использованием геометрического и алгебраического методов. При таком подходе обратная кинематическая задача о положении разбивается на две подзадачи. Это сокращает трудоёмкость кинематического анализа манипулятора.

Цель статьи – изложить геометрический и алгебраический расчет обратной кинематики для часто используемого примера компоновки промышленного робота с шестью степенями подвижности, а также сравнить интерполяцию обобщённых координат полиномами третьей и пятой степеней.

**Ключевые слова:** манипулятор, обратная задача кинематики, геометрический метод, алгебраический метод, алгоритм, траектория.

**Для цитирования:** Алфарви И., Игнатьев В.А. Решение обратной кинематической задачи для манипулятора с шестью степенями подвижности // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 1 (68). – С. 17–26.

**I. Alfarwi<sup>✉</sup>, V.A. Ignatiev**

MSUT “STANKIN”

<sup>✉</sup> Corresponding author

## SOLUTION OF THE INVERSE KINEMATIC PROBLEM FOR A MANIPULATOR WITH SIX DEGREES OF FREEDOM

### Abstract

This article presents an algorithm for solving the inverse problem of the kinematics of a robot manipulator. Algorithm is constructed using geometric and algebraic methods. With this algorithm, the inverse kinematic problem is divided to subproblems. This reduces the complexity for kinematic analysis of the manipulator. The purpose of this article is to present the geometric and algebraic calculation of inverse kinematics for a commonly used example industrial robot with 6 degrees of freedom, as well as a comparison of the interpolation of generalized coordinates by polynomials of the third and fifth degrees.

**Keywords:** manipulator, inverse kinematics problem, geometric method, algebraic method, algorithm, trajectory.

**For citation:** Alfarwi I., Ignatiev V.A. Solution of the inverse kinematic problem for a manipulator with six degrees of freedom // Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No 1 (68). P. 17–26. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 1 (68). С. 27–35.

УДК 004.896

Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No. 1 (68). P. 27–35.

С.А. Собольников✉, Н.А. Куликов

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

✉ Автор для корреспонденции

## ДЕТЕКТИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ПОЛОЖЕНИЯ УДАЛЕННЫХ ВЕРТИКАЛЬНО РАСПОЛОЖЕННЫХ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ОБЪЕКТОВ РОБОТОМ ПО ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЮ

### Аннотация

Приведен анализ методов оценки положения и ориентации объектов в пространстве по видеоизображению. В результате, определены преимущества и недостатки каждого из предложенных методов, и принято решение об использовании машинного обучения за счет его быстродействия, точности и устойчивости к окклюзии. Предложена структура двухуровневой системы локализации объектов по видеоизображению для мобильных роботов. Первый уровень отвечает за определение курса и дистанции до объекта, что обеспечивает перемещение шасси робота к объекту. Второй уровень решает задачу определения положения и ориентации объекта в системе координат робота для его захвата, удержания и перемещения манипулятором. Алгоритмы, используемые на обоих уровнях, основаны на сверточной нейронной сети архитектуры EfficientPose. Для определения дистанции и курса архитектура EfficientPose была модифицирована с целью снижения вычислительных затрат с сохранением точности. Модификация заключалась в исключении модуля определения ориентации объектов, а также в замене модуля определения координат ключевых точек объекта на модуль определения координат ограничивающего прямоугольника объекта на изображении. Кроме того, был разработан генератор синтетического набора данных, адаптированный для ГСНС с модифицированной архитектурой, и скорректирован механизм расчета ошибки в процессе обучения. Модификации позволяют определять дистанцию и курс до объекта на раннем этапе его обнаружения, а также детектировать несколько объектов одновременно при ограниченных вычислительных ресурсах бортовых средств робота. Приведены результаты экспериментальных исследований, которые демонстрируют достаточную точность, быстродействие и надежность двухуровневой системы локализации для осуществления захвата объектов.

**Ключевые слова:** система технического зрения, нейронные сети, мобильная робототехника.

**Для цитирования:** Собольников С.А., Куликов Н.А. Детектирование и оценка положения удаленных вертикально расположенных осесимметричных объектов роботом по видеоизображению // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 1 (68). – С. 27–35.



*S.A. Sobolnikov*<sup>✉</sup>, *N.A. Kulikov*

MSUT “STANKIN”

✉ Corresponding author

## DISTANT AXISYMMETRIC VERTICAL OBJECTS DETECTION AND POSE ESTIMATION BY ROBOT USING A VIDEO IMAGE

### Abstract

An analysis of methods for object’s position and orientation estimating based on video imagery is provided. As a result, the advantages and disadvantages of each proposed method have been identified, and a decision has been made to use machine learning due to its speed, accuracy, and robustness against occlusion. The structure of a two-level system for localizing objects by video image for mobile robots is proposed. The first level is responsible for determining the course and distance to the object, which ensures the robot chassis movement towards the object. The second level solves the task object’s position and orientation determining in the robot’s coordinate frame for its capture, retention, and manipulation by the manipulator. The algorithms used at both levels are based on the EfficientPose convolutional neural network architecture. To determine distance and course, the EfficientPose architecture was modified to reduce computational costs while preserving accuracy. The modification involved excluding the orientation module and replacing the object’s keypoints coordinates determining module with a module for object’s bounding rectangle coordinates determining. Additionally, a synthetic dataset generator was developed, adapted for the modified architecture, and the error calculation mechanism in the training process was adjusted. These modifications make it possible to determine the distance and course to an object at an early stage of its detection, as well as detect several objects simultaneously with limited computing resources of robot’s onboard systems. Experimental research results are presented, demonstrating sufficient accuracy, speed, and reliability of the two-level localization system for object grasping.

**Keywords:** vision system, neural networks, mobile robotics.

**For citation:** Sobolnikov S.A., Kulikov N.A. Distant axisymmetric vertical objects detection and pose estimation by robot using a video image // Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No 1 (68). P. 27–35. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 1 (68). С. 36–43.

УДК 621.9.025.7

Vestnik MSUT "Stankin". 2024. No. 1 (68). P. 36–43.

*Е.В. Артамонов, В.А. Василькович, М.О. Чернышов<sup>✉</sup>, Т.Е. Костив, М.Х. Утешев*

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»

<sup>✉</sup> Автор для корреспонденции

## ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СБОРНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ФРЕЗ ЗА СЧЕТ РАСПОЛОЖЕНИЯ МНОГОГРАННЫХ ПЛАСТИН ПО ВИНТОВОЙ ЛИНИИ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ РЕГУЛИРОВКИ УГЛА $\omega$

### Аннотация

В статье дан анализ динамики процесса фрезерования цилиндрическими сборными фрезами с расположением многогранных пластин по винтовой линии. Выявлена степень влияния угла наклона винтовой линии на равномерность процесса фрезерования и усилий резания. Представлена конструкция сборной фрезы повышенной работоспособности с точки зрения стойкости и равномерности фрезерования.

**Ключевые слова:** работоспособность, сборные цилиндрические фрезы, режущие твердосплавные элементы, винтовая линия.

**Для цитирования:** Артамонов Е.В., Василькович В.А., Чернышов М.О., Костив Т.Е., Утешев М.Х. Повышение работоспособности сборных цилиндрических фрез за счет расположения многогранных пластин по винтовой линии с возможностью регулировки угла  $\omega$  // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 1 (68). – С. 36–43.

*E.V. Artamonov, V.A. Vasilkovich, M.O. Chernyshov<sup>✉</sup>, T.E. Kostiv, M.Kh. Uteshev*

Tyumen Industrial University

<sup>✉</sup> Corresponding author

## INCREASING THE PERFORMANCE OF PREFABRICATED CYLINDRICAL MILLS DUE TO THE POSITION OF MULTIGEDAL PLATES ON A HELICAL LINE WITH THE POSSIBILITY OF ADJUSTING THE ANGLE $\omega$

### Abstract

The article provides an analysis of the dynamics of the milling process with cylindrical prefabricated cutters with the arrangement of polyhedral plates along a helical line. The degree of influence of the helix angle on the uniformity of the milling process and cutting forces has been revealed. The design of a prefabricated milling cutter with increased performance in terms of durability and uniformity of milling is presented.

**Keywords:** performance, prefabricated cylindrical cutters, carbide cutting elements, helix.

**For citation:** Artamonov E.V., Vasilkovich V.A., Chernyshov M.O., Kostiv T.E., Uteshev M.Kh. Increasing the performance of prefabricated cylindrical mills due to the position of multigedal plates on a helical line with the possibility of adjusting the angle  $\omega$  // *Vestnik MSUT "Stankin"*. 2024. No 1 (68). P. 36–43. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 1 (68). С. 44–55.

УДК 67.02

Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No. 1 (68). P. 44–55.

*А.А. Верещака<sup>1</sup>, Н.С. Баранова<sup>2</sup>, Е.С. Сотова<sup>3</sup>✉,  
А.Е. Селезнев<sup>3</sup>, К.М. Макаревич<sup>2</sup>, С.А. Рябцев<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> ИКТИ РАН; <sup>2</sup> РТУ МИРЭА; <sup>3</sup> ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»»; <sup>4</sup> Фонд развития промышленности

✉ Автор для корреспонденции

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ПОКРЫТИЯ TI-TiN-(Ti,Al,Cr)N С ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ВЕЛИЧИНОЙ ПЕРИОДА МОДУЛЯЦИИ В ИЗНОСОСТОЙКОМ СЛОЕ

### Аннотация

Представлены результаты исследования свойств наноструктурированных покрытий Ti-TiN-(Ti,Al,Cr)N с изменяющимся периодом модуляции  $\lambda$ . Рассматривались покрытия с увеличивающимся от 20 до 300 нм и уменьшающимся от 300 до 20 нм периодом модуляции. В качестве объекта сравнения рассматривался образец с постоянной величиной периода модуляции  $\lambda = 50$  нм. Определена твердость покрытий и их стойкость к разрушению при скретч-тесте. Структура покрытий исследовалась с использованием сканирующей (СЭМ) и просвечивающей (ПЭМ) электронной микроскопии. Сравнивались данные по элементному и фазовому составу покрытий. Установлено, что покрытие с увеличивающимся периодом модуляции обеспечивает лучшую износостойкость инструмента при точении стали.

**Ключевые слова:** физическое осаждение из паровой фазы (PVD), период стойкости режущего инструмента, нанослойные покрытия, период модуляции, износ.

**Для цитирования:** *Верещака А.А., Баранова Н.С., Сотова Е.С., Селезнев А.Е., Макаревич К.М., Рябцев С.А.* Исследование свойств наноструктурированного покрытия Ti-TiN-(Ti,Al,Cr)N с изменяющейся величиной периода модуляции в износостойком слое // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 1 (68). – С. 44–55.

*A.A. Vereschaka<sup>1</sup>, N.S. Baranova<sup>2</sup>, E.S. Sotova<sup>3</sup>✉, A.E. Seleznev<sup>3</sup>,  
K.M. Makarevich<sup>2</sup>, S.A. Ryabtsev<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> IDTI RAS; <sup>2</sup> RTU MIREA; <sup>3</sup> MSUT “STANKIN”; <sup>4</sup> Industrial Development Fund

✉ Corresponding author

## INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF A NANOSTRUCTURED TI-TiN-(Ti,Al,Cr)N COATING WITH A VARIABLE MODULATION PERIOD IN A WEAR-RESISTANT LAYER

### Abstract

The results of a study of the properties of nanostructured Ti-TiN-(Ti,Al,Cr)N coatings with a varying modulation period  $\lambda$  are presented. Coatings with a modulation period increasing from 20 to 300 nm and decreasing from 300 to 20 nm were considered. A sample with a constant value of the modulation period  $\lambda = 50$  nm

was considered as an object of comparison. The coatings hardness and resistance of the coatings to destruction during the scratch test were determined. The coatings structure was studied using scanning (SEM) and transmission (TEM) electron microscopy. Data on the elemental and phase composition of coatings were compared. It was found that the coating with an increasing modulation period provides better tool wear resistance when turning steel.

**Keywords:** physical vapor deposition (PVD), cutting tool durability period, nanolayer coatings, modulation period, wear.

**For citation:** Vereschaka A.A., Baranova N.S., Sotova E.S., Seleznev A.E., Makarevich K.M., Ryabtsev S.A. Investigation of the properties of a nanostructured Ti-TiN-(Ti,Al,Cr)N coating with a variable modulation period in a wear-resistant layer // *Vestnik MSUT "Stankin"*. 2024. No 1 (68). P. 44–55. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 1 (68). С. 56–67.

УДК 67.02

Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No. 1 (68). P. 56–67.

*Thet Naing So* ✉, *Я.Р. Мелешкин, А. Смирнов, Н.В. Солис Пинарготе*

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

✉ Автор для корреспонденции

## ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЕЧЕННЫХ КОМПОЗИТОВ SiC-TiB<sub>2</sub>-TiC МЕТОДОМ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ

### Аннотация

Композиты SiC-TiB<sub>2</sub>-TiC с матрицей, состоящей из полупроводникового материала (SiC), и проводящих материалов (TiB<sub>2</sub>-TiC) или их комбинации, были изготовлены методом искрового плазменного спекания (ИПС) при температуре 2000°C в вакууме под давлением 80 МПа в течение 3 мин. Состав и микроструктуру полученных композитов изучали с помощью рентгеновской дифракции и сканирующего электронного микроскопа, оснащенного энергодисперсионным детектором. Были определены прочность на изгиб, твердость по Виккерсу и трещиностойкость полученных образцов. Были предложены различные варианты процесса спекания с различными составами матрицы. Спеченный керамический композит 60 об. % SiC – 25 об. % TiB<sub>2</sub> – 15 об. % TiC (плотность – 99,7 %) показал самые высокие значения прочности и твердости, а также трещиностойкости.

**Ключевые слова:** композиты SiC-TiB<sub>2</sub>-TiC, материал режущего инструмента, искровое плазменное спекание (ИПС), механические свойства.

**Для цитирования:** Thet Naing So, Мелешкин Я.Р., Смирнов А., Солис Пинарготе Н.В. Физико-механические свойства спеченных композитов SiC-TiB<sub>2</sub>-TiC методом искрового плазменного спекания // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 1 (68). – С. 56–67.

*Thet Naing Soe* ✉, *Y.R. Meleshkin, A. Smirnov, N.W. Solis Pinargote*

MSUT “STANKIN”

✉ Corresponding author

## PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SINTERED COMPOSITES SiC-TiB<sub>2</sub>-TiC BY SPARK PLASMA SINTERING METHOD

### Abstract

SiC-TiB<sub>2</sub>-TiC composites, which matrices consist of: semiconductor material (SiC), conductive materials (TiB<sub>2</sub>-TiC), and their combination, were fabricated by the Spark Plasma Sintering (SPS) at 2000°C in vacuum under pressure of 80 MPa for 3 min. Flexural strength, Vickers hardness and fracture toughness of SPSed samples were determined. Based on the observation of this work, three variants of the sintering process were proposed depending on the matrix composition. The dense (99.7 %) 60SiC-25TiB<sub>2</sub>-15TiC vol. % sintered ceramic composites exhibited the highest strength and hardness values of studied composites, as well as fracture toughness.

**Keywords:** SiC-TiB<sub>2</sub>-TiC composites, cutting tool material, spark plasma sintering (SPS), mechanical properties.

**For citation:** Thet Naing Soe, Meleshkin Y.R., Smirnov A., Solis Pinargote N.W. Physical and mechanical properties of sintered composites SiC-TiB<sub>2</sub>-TiC by spark plasma sintering method // Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No 1 (68). P. 56–67. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 1 (68). С. 68–74.

УДК 621.9.06

Vestnik MSUT "Stankin". 2024. No. 1 (68). P. 68–74.

**К.И. Шлаев**<sup>✉</sup>, **Ф.С. Сабиров**

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

✉ Автор для корреспонденции

## ВИБРОДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УГЛОВЫХ ФРЕЗЕРНЫХ ГОЛОВОК

### Аннотация

В работе рассматривается применение методов импульсного возбуждения и анализа вибраций для оценки технического состояния угловых фрезерных головок с фиксированным углом поворота в процессе их эксплуатации. Приведен комплексный подход диагностики угловых головок, позволяющий на основе технического состояния планировать дату техобслуживания или ремонта. Проведено исследование угловых головок Alberti T90-8 и OMG TA 40 методами импульсного возбуждения и при различных режимах работы станка. Получен спектр вибросигнала с акселерометров. Проведена оценка состояния конструктивных элементов угловой головки, выявлен дисбаланс вращающегося вала угловой головки и дефекты ударного происхождения. Выполнен восстановительный ремонт головки. Проведена обработка сплава АМг-6 и исследовано качество полученной поверхности. Получена амплитудно-фазовая частотная характеристика (АФЧХ) угловой головки в неисправном состоянии и после восстановления. Проведено сравнение спектра сигнала угловой головки в неисправном состоянии со спектром в восстановленном состоянии на различных частотах вращения. Приведена методика для диагностики технического состояния угловых головок.

**Ключевые слова:** угловая фрезерная головка, виброакустическая диагностика, импульсное возбуждение, спектр сигнала, динамические характеристики, оценка технического состояния

**Для цитирования:** Шлаев К.И., Сабиров Ф.С. Вибродиагностика технического состояния угловых фрезерных головок // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 1 (68). – С. 68–74.

**K.I. Shlaev**<sup>✉</sup>, **F.S. Sabirov**

MSUT "STANKIN"

✉ Corresponding author

## VIBROACOUSTIC DIAGNOSTICS OF THE TECHNICAL CONDITION OF ANGULAR MILLING HEADS

### Abstract

This paper describes the use of pulse excitation and vibration analysis methods to assess the technical condition of angular milling heads during their operation. An example of an integrated approach to the diagnosis of angle heads is given, which allows planning the date of maintenance or repair based on the technical condition. The study of the Alberti T90-8 and OMG TA 40 angle heads was carried out using pulse excita-

tion methods and under various operating modes of the machine. The spectrum of the vibration signal from accelerometers was obtained. An assessment of the condition of the structural elements of the angular head has been carried out. The imbalance of the rotating shaft of the angular head and defects of impact origin were revealed. A restorative repair of the head has been performed. The AMg-6 alloy was processed; the quality of the obtained surface is investigated. The spectrum of the angle head signal in the faulty state is compared with the spectrum in the restored state at different rotational frequencies. A technique for diagnosing the technical condition of corner heads is given.

**Keywords:** angular milling head, vibroacoustic diagnostics, impulse excitation, spectrum, dynamic characteristics, analysis of technical condition.

**For citation:** Shlaev K.I., Sabirov F.S. Vibroacoustic diagnostics of the technical condition of angular milling heads // Vestnik MSUT "Stankin". 2024. No 1 (68). P. 68–74. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 1 (68). С. 75–86.

УДК 621.9.022.2

Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No. 1 (68). P. 75–86.

*А.В. Исаев, М.С. Николаев*<sup>✉</sup>

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

<sup>✉</sup> Автор для корреспонденции

## АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ИМИТАЦИИ ОБРАБОТКИ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ СБОРНЫМИ ФРЕЗАМИ В СИСТЕМАХ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА

### Аннотация

В статье представлен анализ функциональных взаимосвязей между конструктивными параметрами металлорежущих инструментов, показателями процесса обработки и свойствами обрабатываемого материала. На основе анализа определены наиболее актуальные направления исследований в области обработки резанием труднообрабатываемых материалов. Выполнен обзор моделей износа режущих инструментов, применяемых в системах инженерного анализа и используемых при проектировании конструкций и исследовании работоспособности режущих инструментов, описаны их преимущества и недостатки. Описан общий порядок использования метода конечных элементов (МКЭ) при проектировании конструкции сборной фрезы.

Описаны основные принципы МКЭ, его преимущества для анализа процессов фрезерования и возможности его оптимизации, приведены основные этапы моделирования процессов фрезерования с применением МКЭ в системах инженерного анализа, даны рекомендации по выбору параметров сетки конечных элементов при моделировании процессов резания. Описаны возможности МКЭ для предсказания температурных полей.

**Ключевые слова:** режущий инструмент, сборные фрезы, фрезерование, моделирование процесса резания, модели износа, системы инженерного анализа.

**Для цитирования:** Исаев А.В., Николаев М.С. Анализ моделей износа режущего инструмента, используемых для имитации обработки труднообрабатываемых материалов сборными фрезами в системах инженерного анализа // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 1 (68). – С. 75–86.



*A.V. Isaev, M.S. Nikolaev* ✉

MSUT “STANKIN”

✉ Corresponding author

## **ANALYSIS OF MODELS OF WEAR USED FOR SIMULATION OF MACHINING DIFFICULT-TO-CUT MATERIALS WITH INDEXED MILLING CUTTERS IN CAE SOFTWARE**

### **Abstract**

The article presents an analysis of the functional relationships between the design parameters of the metal cutting tools, the processing process indicators and the properties of the material being processed, on the basis of which the most relevant areas of research in the field of machining of hard-to-cut materials are identified. A review of wear models which can be applied for modelling of cutting tools and studying their characteristics in computer-aided engineering (CAE) systems is carried out, their advantages and disadvantages are described. The general procedure for using the finite element method (FEM) when designing indexed milling cutting tools is described.

The basic principles of FEM, its advantages for analyzing milling processes and opportunities for its optimization are described, the main stages of modeling milling processes using FEM in engineering analysis systems are given, and recommendations for choosing finite element mesh parameters when modeling cutting processes are provided. The capabilities of FEM for predicting temperature fields are described.

**Keywords:** cutting tools, indexed milling cutters, milling, cutting process simulation, wear models, CAE systems.

**For citation:** Isaev A.V., Nikolaev M.S. Analysis of models of wear used for simulation of machining difficult-to-cut materials with indexed milling cutters in CAE software // Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No 1 (68). P. 75–86. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 1 (68). С. 87–95.

УДК 681.3:657.1

Vestnik MSUT "Stankin". 2024. No. 1 (68). P. 87–95.

**В.А. Тимирязев, В.И. Левчук <sup>✉</sup>, И.В. Авдюшин**

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

<sup>✉</sup> Автор для корреспонденции

## ВЫЯВЛЕНИЕ И РАСЧЕТ РАЗМЕРНЫХ СВЯЗЕЙ МЕХАНИЗМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТОДОВ ДОСТИЖЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПРИ ЕГО СБОРКЕ И ТОЧНОСТИ РАЗМЕРОВ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ДЕТАЛЕЙ

### Аннотация

Разработка техпроцессов изготовления изделий машиностроительного производств, различных узлов и механизмов, включает проектирование техпроцессов изготовления, механообработки, комплектующих деталей узла и разработку техпроцесса сборки узла. Ключевыми задачами на этих двух основных этапах технологического проектирования являются определение обоснованных требований к точности получаемых линейных и угловых размеров изготавливаемых деталей и выбор эффективных методов достижения точности при выполнении техпроцесса сборки узла. Оптимальное решение этих ключевых задач достигается на основе выявления и расчета размерных связей изготавливаемого узла. В соответствии с этим в статье рассматривается методика выявления и расчета размерных связей узла, на основе которой определяются методы достижения точности, используемые в процессе сборки узла, и требования к точности получаемых линейных и угловых размеров комплектующих деталей узла.

**Ключевые слова:** деталь, размерная цепь, параметры точности, метод достижения точности, размеры линейные и угловые.

**Для цитирования:** Тимирязев В.А., Левчук В.И., Авдюшин И.В. Выявление и расчет размерных связей механизма для определения методов достижения точности при его сборке и точности размеров комплектующих деталей // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 1 (68). – С. 87–95.

**V.A. Timiryazev, V.I. Levchuk <sup>✉</sup>, I.V. Avdyushin**

MSUT "STANKIN"

<sup>✉</sup> Corresponding author

## IDENTIFICATION AND CALCULATION OF DIMENSIONAL RELATIONSHIPS OF A MECHANISM TO DETERMINE METHODS FOR ACHIEVING ACCURACY DURING ITS ASSEMBLY AND DIMENSIONAL ACCURACY OF COMPONENT PARTS

### Abstract

The development of technical processes for the manufacture of machine-building products, various components and mechanisms, includes the design of manufacturing processes, machining, component parts of the node and the development of the assembly process of the node. The key tasks at these two main stages of technological design are to determine reasonable requirements for the accuracy of the obtained linear

and angular dimensions of manufactured parts and to select effective methods to achieve accuracy when performing the assembly process of the assembly. The optimal solution to these key tasks is achieved on the basis of identifying and calculating the dimensional relationships of the manufactured node. In accordance with this, the article discusses the methodology for identifying and calculating the dimensional connections of the node, on the basis of which the methods for achieving accuracy used in the assembly of the node and the requirements for the accuracy of the obtained linear and angular dimensions of the component parts of the node are determined.

**Key words:** part, dimensional chain, accuracy parameters, method of achieving accuracy, linear and angular dimensions.

**For citation:** Timiryazev V.A., Levchuk V.I., Avdyushin I.V. Identification and calculation of dimensional relationships of a mechanism to determine methods for achieving accuracy during its assembly and dimensional accuracy of component parts // Vestnik MSUT "Stankin". 2024. No 1 (68). P. 87–95. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 1 (68). С. 96–107.

УДК 621.91.02

Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No. 1 (68). P. 96–107.

И.П. Дерябин<sup>1</sup>, А.С. Токарев<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup> Южно-Уральский государственный университет; <sup>2</sup> ТТИ филиал НИЯУ МИФИ

✉ Автор для корреспонденции

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РАСЧЕТА УВОДА ОСИ ПРИ РАССВЕРЛИВАНИИ ОТВЕРСТИЙ ДВУХЛЕЗВИЙНЫМ СВЕРЛОМ

### Аннотация

В данной статье рассматриваются процессы формообразования отверстий двухлезвийным сверлом в предварительно обработанном или пилотном отверстии. Этот процесс отличается от получения отверстия в сплошном материале, так как уже присутствует погрешность предшествующей обработки, что значительно сказывается на выборе параметров режимов резания и геометрических параметрах режущего инструмента. Разработана математическая модель для расчета увода оси отверстия в пилотном или предварительно обработанном отверстии, в которой учитываются величины векторных сил, действующих на каждое лезвие, а также радиальная результирующая этих сил. Проверяется адекватность разработанной математической модели для расчета увода оси отверстия с учетом погрешностей предшествующей обработки, которая учитывает разницу главных углов в плане у режущего инструмента. Были разработаны новые способы построения площадей срезаемых сечений припусков в системах автоматизированного проектирования. Новый способ учитывает величину врезания режущего инструмента, что позволяет повысить точностные расчеты математической модели. Экспериментальные исследования включают в себя обработку отверстий сверлами различного диаметра, затем измерение увода оси после каждой обработки и анализ полученных результатов. Разница между расчетами по математической модели и измеренными значениями заготовок после обработки составила не более 15%. На основании проведенных экспериментальных исследований были проведены статистические расчеты, которые подтвердили адекватность разработанной математической модели расчета увода оси отверстия в пилотном или предварительно обработанном отверстии и соответственно возможность применения ее в проектировании технологических процессов обработки деталей в машиностроительном производстве инженерами-технологами.

**Ключевые слова:** сверло, увод оси, разница главных углов в плане, математическая модель расчета, точность обработки.

**Для цитирования:** Дерябин И.П., Токарев А.С. Экспериментальное исследование адекватности математических моделей расчета увода оси при рассверливании отверстий двухлезвийным сверлом // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 1 (68). – С. 96–107.

*I.P. Deryabin<sup>1</sup>, A.S. Tokarev<sup>2</sup>* ✉

<sup>1</sup> South Ural State University; <sup>2</sup> TTI branch of NRNU MEPhI

✉ Corresponding author

## EXPERIMENTAL STUDY OF THE ADEQUACY OF MATHEMATICAL MODELS FOR CALCULATING AXIS DRIFT WHEN DRILLING HOLES WITH A TWO-BLADE DRILL BIT

### Abstract

This article discusses the processes of forming holes with a two-blade drill in a pre-treated or pilot hole. This process differs from obtaining a hole in a solid material, since there is already an error in the previous processing, which significantly affects the choice of cutting mode parameters and geometric parameters of the cutting tool. A mathematical model has been developed to calculate the deflection of the hole axis in a pilot or pre-treated hole, which takes into account the magnitude of the vector forces acting on each blade, as well as the radial resultant of these forces. The adequacy of the developed mathematical model for calculating the deflection of the hole axis is checked, taking into account the errors of previous processing, which considers the difference in the main angles in terms of the cutting tool. New methods have been developed for constructing the areas of cut-off sections of allowances in computer-aided design systems. The new method takes into account the amount of embedding of the cutting tool, which makes it possible to increase the accuracy of calculations of the mathematical model. Experimental studies include processing holes with drills of various diameters, then measuring the axis deflection after each processing and analyzing the results obtained. The difference between the calculations based on the mathematical model and the measured values of the workpieces after processing was no more than 15%. Based on the conducted experimental studies, statistical calculations were carried out, which confirmed the adequacy of the developed mathematical model for calculating the deflection of the hole axis in a pilot or pretreated hole and, accordingly, the possibility of using it in the design of technological processes for processing parts in machine-building production by process engineers.

Keywords: drill, axis drift, difference of plan approach angles, mathematical model of calculation, machining accuracy.

**For citation:** Deryabin I.P., Tokarev A.S. Experimental study of the adequacy of mathematical models for calculating axis drift when drilling holes with a two-blade drill bit // Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No 1 (68). P. 96–107. (In Russian)

Научная статья

УДК 621.984.8

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 1 (68). С. 108–118.

Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No. 1 (68). P. 108–118.

А.А. Мышечкин, В.В. Зуев, Е.В. Преображенская, С.В. Скрипник✉

РТУ МИРЭА

✉ Автор для корреспонденции

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВЫМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ ПОКОВОК С ГЛУБОКИМИ ПОЛОСТЯМИ И ОБРАТНЫМ КОНУСОМ

### Аннотация

В статье методом цифрового моделирования в программе QForm разработан и исследован технологический процесс горячей штамповки поковок с глубокими полостями и обратным конусом типа оправки прошивного стана. Предложена схема технологического процесса горячей штамповки за четыре перехода. На первом переходе происходит осадка с формированием заходного конуса, на втором – штамповка выдавливанием с предварительным оформлением наружного контура и наметкой полости, на третьем и четвертом переходах – выдавливание внутренней полости и штамповка заднего конического участка оправки. Исследовано влияние технологических параметров на силовые параметры и заполнение полости штампа. Определены показатели напряженного и деформированного состояния, распределение температуры по сечению поковки, форма и размеры исходной заготовки, переходы штамповки, обеспечивающие минимальную технологическую силу, оптимальные условия заполнения полости штампа. Исследовано влияние наметки полости на втором переходе на максимальную температуру прошивного пуансона и время контакта пуансона с металлом на третьем переходе. Для реализации предложенной схемы штамповки предложен четырехпозиционный штамп, даны рекомендации по выбору материала для его изготовления. Для снижения на четвертом переходе силы штамповки и действующих в формирующей внутренней полости оправки пуансоне напряжений, повышения его стойкости, предложено верхнюю часть штампа на четвертой позиции выполнить сборной, при этом пуансон выполнен с возможностью осевого перемещения. Установлен характер перемещения подвижного пуансона в зависимости от перемещения матрицы.

**Ключевые слова:** моделирование, горячая объемная штамповка, штамп, заготовка, поковка, переходы штамповки, температура, температурное поле, напряжения, деформации, силовые параметры.

**Для цитирования:** Мышечкин А.А., Зуев В.В., Преображенская Е.В., Скрипник С.В. Исследование цифровым моделированием процесса горячей объемной штамповки поковок с глубокими полостями и обратным конусом // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 1 (68). – С. 108–118.

*A.A. Myshechkin, V.V. Zuev, E.V. Preobrazhenskaya, S.V. Skripnik*<sup>✉</sup>

RTU MIREA

<sup>✉</sup> Corresponding author

## DIGITAL SIMULATION STUDY OF HOT BULK FORGING PROCESS WITH DEEP CAVITIES AND REVERSE CONE

### Abstract

In the article, using the digital modeling method in the QForm program, the technological process of hot stamping forgings with deep cavities and a reverse cone of the mandrel type of a sewing mill is developed and investigated. The scheme of the technological process of hot stamping in four transitions is proposed. At the first transition, precipitation occurs with the formation of an entrance cone, at the second – extrusion stamping with preliminary design of the outer contour and cavity marking, at the third and fourth transitions – extrusion of the inner cavity and stamping of the rear conical section of the mandrel. The influence of technological parameters on the power parameters and filling of the die cavity is investigated. The parameters of the stressed and deformed state, the temperature distribution over the forging section, the shape and dimensions of the initial workpiece, the stamping transitions providing minimum technological force, and optimal conditions for filling the die cavity are determined. The effect of the cavity marking at the second transition on the maximum temperature of the piercing punch and the contact time of the punch with the metal at the third transition is investigated. To implement the proposed stamping scheme, a four-position stamp is proposed, and recommendations are given on the choice of material for its manufacture. In order to reduce the punching force at the fourth transition and the stresses acting in the punch forming the inner cavity of the mandrel, to increase its durability, it is proposed to make the upper part of the stamp in the fourth position assembled, while the punch is made with the possibility of axial movement. The nature of the movement of the movable punch is determined depending on the movement of the matrix.

**Keywords:** modeling, hot stamping, die, blank, forging, stamping transitions, temperature, temperature field, stresses, deformations, force parameters.

**For citation:** Myshechkin A.A., Zuev V.V., Preobrazhenskaya E.V., Skripnik S.V. Digital simulation study of hot bulk forging process with deep cavities and reverse cone // Vestnik MSUT «Stankin». 2024. No 1 (68). P. 108–118. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 1 (68). С. 119–128.

УДК 67.05

Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No. 1 (68). P. 119–128.

*Ю.В. Галыкин, В.П. Дашевский*

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРИБОРНЫХ КОРПУСОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО СТАНКА С ЧПУ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРЕПЕЖНЫХ БРУСКОВ

### Аннотация

В статье рассмотрены задачи автоматизации производства приборных корпусов, описан процесс автоматизированного изготовления несущих и крепежных деталей приборных корпусов (брусков) из прутка квадратного сечения на основе разработанного специализированного станка с ЧПУ. Основной акцент сделан на задаче полностью автоматического цикла операций, необходимых для серийного изготовления брусков. Для изготовления таких деталей требуется обрабатывать прокатный профиль в форме квадрата с нескольких сторон, а также производить точный отрез по длине. Фиксация заготовки, настройка системы координат для обработки такой детали в традиционных системах ЧПУ являются трудозатратными процессами, требующими участия человека, что существенно снижает производительность труда. Для решения данной проблемы и повышения производительности при изготовлении подобных деталей предлагается использование специального ЧПУ-станка, способного полностью автоматически изготавливать детали корпусов с заданными параметрами. В данной работе представлено описание конструкции специализированного ЧПУ-станка, обеспечивающего полный цикл высокоточной обработки брусков: сверление отверстий, нарезание резьбы, отрез в размер. Для управления станком применена серийная система ЧПУ для 5 осей. Специальная система пневматических захватов позволяет автоматически подавать прутки в зону обработки, производить его поворот и выталкивать из рабочей зоны готовую деталь. Оценка производительности станка показала его эффективность в снижении времени и трудозатрат на производство деталей подобного типа.

**Ключевые слова:** автоматизация производства, ЧПУ-станок, автоматизированное изготовление деталей, изготовление брусков, система пневматических захватов.

**Для цитирования:** Галыкин Ю.В., Дашевский В.П. Автоматизация производства приборных корпусов с применением специализированного станка с ЧПУ для изготовления крепежных брусков // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 1 (68). – С. 119–128.



*Yu.V. Galykin, V.P. Dashevsky*

St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences

## AUTOMATION OF THE MANUFACTURING OF DEVICE ENCLOSURES USING A SPECIALIZED CNC MACHINE FOR THE PRODUCTION OF FASTENING BARS

### **Abstract**

The article discusses the tasks of automating the production of device enclosures, describes the process of automated development of a specialized CNC machine designed for the manufacture of load-bearing and fastening parts of device enclosures (bars) from a square bar based on the developed specialized CNC machine. The main emphasis is made on the task of full automation of the serial production of bars without operator intervention. Rods are pulled into machine, where they are positioned, holed and threaded and then cut precisely. A generic 3-axis CNC machine need operator to place and fix rod, make zero calibration for each axis which is time consuming. Suggested CNC-machine construction provides all these functions in one automated bar processing: drilling holes, threading, cutting to the required length. The machine uses 5-axis CNC controller. A special system of pneumatic grips is introduced which helps to pull rod into the processing zone, turn it for proper side processing, and to push finished part out of processing zone. Performance evaluation of the machine demonstrates its effectiveness in reducing operator's time and labor costs for the production of parts of this type.

**Keywords:** automation production, CNC-machine, automatized manufacturing of parts, manufacturing of bars, pneumatic grips system.

**For citation:** Galykin Yu.V., Dashevsky V.P. Automation of the manufacturing of device enclosures using a specialized CNC machine for the production of fastening bars // Vestnik MSUT "Stankin". 2024. No 1 (68). P. 119–128. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 1 (68). С. 129–137.

УДК 658.5:004.9

Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No. 1 (68). P. 129–137.

**А.В. Быкова** ✉, **А.В. Капитанов**

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

✉ Автор для корреспонденции

## АНАЛИЗ CRM-СИСТЕМ И ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АРХИТЕКТУРНОГО РЕШЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ CRM-СИСТЕМЫ ДЛЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

### Аннотация

Рассматривается процесс построения модели архитектурного решения автоматизированной системы управления взаимоотношениями с клиентами (CRM-системы) для производственных предприятий. Описываются результаты сравнительного анализа актуальных решений для машиностроительного предприятия. При анализе выполнен подбор критериев для сравнения CRM-систем, выявлены особенности каждой системы, установлены закономерности построения существующих CRM-систем и их недостатки. Результаты анализа позволяют сформулировать требования к архитектурному решению CRM-системы для производственного предприятия, на основе которых предложено архитектурное улучшение CRM-системы, с внедрением в структуру порталного решения для автоматизации и оптимизации работы служб сопровождения и сервиса предприятия.

**Ключевые слова:** CRM система, сервис, сопровождение, архитектура системы, модель CRM системы.

**Для цитирования:** Быкова А.В., Капитанов А.В. Анализ CRM-систем и формирование структуры архитектурного решения автоматизированной CRM-системы для машиностроительного производства // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 1 (68). – С. 129–137.

**А.В. Быкова** ✉, **А.В. Капитанов**

MSUT “STANKIN”

✉ Corresponding author

## ANALYSIS OF CRM SYSTEMS AND DEVELOPMENT OF THE AUTOMATED CRM SYSTEM ARCHITECTURE AT THE MACHINE-BUILDING ENTERPRISE

### Abstract

The process of building an architectural model of the automated CRM system (customer relationship management system) at manufacturing enterprises is considered. The results of the comparative analysis of current solutions for the machine-building enterprise are described. During the analysis, criteria for comparing CRM systems were selected, the features of each system were identified, the patterns of CRM systems development and their disadvantages were established. The results of the analysis allow to identify requirements for the architecture of a CRM system at a manufacturing enterprise, on the basis of which an architectural solution

of a CRM system is proposed, with the implementation of a service web-portal into the architecture for automating and optimizing the work of support services at an enterprise.

**Keywords:** CRM system, service, support, system architecture, CRM model.

**For citation:** Bykova A.V., Kapitanov A.V. Analysis of CRM systems and development of the automated CRM system architecture at the machine-building enterprise // Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No 1 (68). P. 129–137. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 1 (68). С. 138–149.

УДК 621.791.722

Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No. 1 (68). P. 138–149.

**В.С. Тынченко, С.О. Курашкин** ✉, **Е.В. Шуткина**

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева

✉ Автор для корреспонденции

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ИНДУКЦИОННОЙ ПАЙКИ ВОЛНОВОДНЫХ ТРАКТОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

### Аннотация

В статье предлагается математический аппарат для моделирования тепловых процессов в среде SimInTech при индукционном нагреве элементов волноводных трактов космических аппаратов при их пайке с целью повышения качества управления таким технологическим процессом. В работе предложены новые математические модели нагрева трубы, фланца и муфты волноводного тракта, а также модель распределения энергии между спаиваемыми элементами при создании сборки, отличающиеся от известных учетом геометрии изделий и позволяющие проводить отработку параметров технологического процесса индукционной пайки (ИП). В качестве метода исследования был выбран аппарат теории сварочных процессов, а именно модель полубесконечного стержня с ограничениями. Проведено исследование эффективности предложенного математического аппарата посредством натуральных экспериментов, показавшее высокую степень соответствия модельных и экспериментальных данных. Применение предложенного в статье подхода позволяет существенно снизить трудовые и материальные затраты на отработку технологического процесса ИП волноводных трактов как при коррекции существующих процессов, так и при вводе в производство новых типоразмеров и материалов изделий.

**Ключевые слова:** моделирование, индукционный нагрев, волноводный тракт, технологический процесс, управление, автоматизация.

**Для цитирования:** Тынченко В.С., Курашкин С.О., Шуткина Е.В. Математическое моделирование индукционного нагрева для повышения эффективности управления процессом индукционной пайки волноводных трактов космических аппаратов // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 1 (68). – С. 138–149.

*V.S. Tynchenko, S.O. Kurashkin* ✉, *E.V. Shutkina*

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology

✉ Corresponding author

## MATHEMATICAL MODELING OF INDUCTION HEATING TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF CONTROL OF THE INDUCTION SOLDERING PROCESS OF WAVEGUIDE PATHS OF SPACECRAFT

### Abstract

The paper proposes a robust mathematical model for simulating thermal processes during the induction heating of waveguide path elements of spacecraft for soldering purposes in the SimInTech environment. The research focuses on the induction soldering (IS) process, with a specific emphasis on the precise distribution of energy over time and volume of waveguide path assembly elements. The article presents new mathematical models for heating a tube, a flange, and coupling of a waveguide tract, as well as a model for energy distribution between soldered elements during assembly. These models accurately consider the geometry of the products and enable precise calculation of parameters for the IS process. The research method chosen was the model of a semi-infinite rod with constraints, which is a well-established part of the theory of welding processes. Full-scale experiments were conducted to investigate the effectiveness of this mathematical apparatus. The results unequivocally demonstrated a high degree of correspondence between the model and experimental data, thus confirming the validity and reliability of the chosen approach. The proposed approach in the article will significantly reduce labor and material costs for developing the technological process of IS of waveguide paths. This applies to both correcting existing processes and introducing new standard sizes and materials of products.

**Keywords:** modeling, induction heating, waveguide path, technological process, control, automation.

**For citation:** Tynchenko V.S., Kurashkin S.O., Shutkina. E.V. Mathematical modeling of induction heating to improve the efficiency of control of the induction soldering process of waveguide paths of spacecraft // Vestnik MSUT "Stankin". 2024. No 1 (68). P. 138–149. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 1 (68). С. 150–158.

УДК 621.735.016.2

Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No. 1 (68). P. 150–158.

Д.И. Кулизаде ✉, О. Альякхрасс

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

✉ Автор для корреспонденции

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВИБРАЦИИ И ШУМА СВЕРЛИЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА JET JMD-45LPFD

### Аннотация

Представленное исследование посвящено оптимизации размещения датчиков на сверлильно-фрезерном станке JET JMD-45LPFD с использованием комплексного анализа вибрации и шума. Основная цель исследования заключается в повышении эффективности устройства путём предоставления данных о текущем состоянии станка, системе управления промышленной безопасностью. Размещение датчиков в областях максимальной вибрации и шума позволило получить полное представление о динамическом поведении станка. Эти данные успешно интегрированы в систему управления, что существенно улучшило мониторинг и обеспечило повышение уровня безопасности и эффективности работы оборудования.

**Ключевые слова:** станок JET JMD-45LPFD, контроль опасных производственных факторов, система управления промышленной безопасностью (СУПБ), датчики.

**Для цитирования:** Кулизаде Д.И., Альякхрасс О. Исследование характеристик вибрации и шума сверлильно-фрезерного станка JET JMD-45LPFD // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 1 (68). – С. 150–158.

D.I. Kulizade ✉, U. Alakhrass

MSUT “STANKIN”

✉ Corresponding author

## RESEARCH OF VIBRATION AND NOISE CHARACTERISTICS OF JET JMD-45LPFD DRILLING AND MILLING MACHINE

### Abstract

This study focuses on optimizing the sensor position in the drilling and milling machine JET JMD-45LPFD through comprehensive vibration and noise analysis. The main goal of the research is to improve the efficiency of the device by providing data on the current state of the machine to the basic process control system (BPCS). Placing sensors in areas of maximum vibration and noise allowed us to gain a complete understanding of the dynamic behavior of the machine. This data was successfully integrated into the control system, which significantly improved monitoring and increased the level of safety and efficiency of equipment.

**Keywords:** milling and drilling machine JET JMD-45LPFD, noise reduction, vibration reduction, the basic process control system (BPCS), sensors.

**For citation:** Kulizade D.I., Alakhrass U. Research of vibration and noise characteristics of JET JMD-45LPFD drilling and milling machine // Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No 1 (68). P. 150–158. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 1 (68). С. 159–167.

УДК 621.9.06-112.6

Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No. 1 (68). P. 159–167.

А.С. Далечин<sup>✉</sup>, А.Н. Феофанов

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

✉ Автор для корреспонденции

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПОДСИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КОМПОНОВКИ АГРЕГАТНОГО СТАНКА НА ПРИМЕРЕ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ С ЦЕЛЮ УМЕНЬШЕНИЯ ТРУДОЕМКОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

### Аннотация

Выполнен мониторинг текущей потребности российских машиностроительных предприятий в технологическом оборудовании из отечественных комплектующих для крупносерийного и массового производства. Установлено, что организации наращивают объемы производства собственной продукции из-за возросшего спроса на отечественные изделия, повышая тем самым спрос на переналаживаемые станки. Выполнен анализ существующих решений по автоматизации компоновок агрегатных станков (АС) и выявлены существующие особенности проектирования таких решений. Предложен алгоритм по разработке подсистемы автоматизированной компоновки АС, разработанный на базе методологии функционального моделирования IDEF0. Указано, что диаграмма в методологии IDEF0 является наиболее подходящей при синтезе производственно-технических и организационно-экономических систем методами функционального моделирования, что обеспечивает её применение в настоящем алгоритме. Отмечено, что в основе предлагаемого решения лежит модульный подход к проектированию металлорежущего оборудования, который позволяет подготовить автоматизированную систему переконфигурации технологического оборудования. По предложенному алгоритму произведена разработка модели подсистемы автоматизированной компоновки агрегатного станка на примере корпусных деталей на базе САПР T-Flex. Описаны широкие возможности для применения, дальнейшей проработки и расширения возможностей предложенного алгоритма. Приведена практическая значимость предлагаемого решения по сокращению трудозатрат на проектирование агрегатных станков и ускорения выдачи предварительного конструкторского решения по компоновке станка в текущих производственных условиях на предприятиях, изготавливающих технологическое оборудование. Обозначено возможное применение предложенной модели подсистемы автоматизированной компоновки агрегатного станка на примере корпусных деталей при проектировании агрегатного технологического оборудования в условиях импортозамещения.

**Ключевые слова:** станки, станкостроение, агрегатные станки, компоновки агрегатных станков, система визуализации станков.

**Для цитирования:** Далечин А.С., Феофанов А.Н. Разработка модели подсистемы автоматизированной компоновки агрегатного станка на примере корпусных деталей с целью уменьшения трудоемкости проектирования технологического оборудования // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 1 (68). – С. 159–167.

*A.S. Dalechin*<sup>✉</sup>, *A.N. Feofanov*

MSUT “STANKIN”

✉ Corresponding author

## DEVELOPMENT OF THE SUBSYSTEM MODEL OF AUTOMATED LAYOUT OF ROTARY TRANSFER MACHINE ON THE EXAMPLE OF BODY PARTS IN ORDER TO REDUCE THE COMPLEXITY OF DESIGNING TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

### Abstract

Monitoring of the current demand of Russian machine-building enterprises for technological equipment from locally produced components for large-scale and mass production has been carried out. It has been established that organizations are increasing the production of their own products due to the increased demand for domestic products, thereby increasing the demand for reconfigurable machines. The analysis of existing solutions for automating the layouts of rotary transfer machines has been performed and the existing design features of such solutions have been identified. An algorithm has been developed and proposed for the creation of rotary transfer machine layout subsystem, developed on the basis of the IDEF0 functional modeling methodology. It is indicated that the diagram in the IDEF0 methodology is the most suitable for the synthesis of industrial, technical, organizational and economic systems using functional modeling methods, which ensures its application in this algorithm. It is noted that the proposed solution is based on a modular approach to the design of metal-cutting equipment, which makes it possible to prepare an automated system for the reconfiguration of technological equipment. On the basis of the considered algorithm, a model of the subsystem of the automated layout of the rotary transfer machine was developed on the example of body parts based on T-Flex CAD. The wide possibilities for the application, further development and expansion of the proposed algorithm are described. The practical significance of the proposed solution to reduce labor costs for the design of rotary transfer machines and accelerate the issuance of a preliminary design solution for the layout of the machine in the current production realities at manufacturing enterprises of technological equipment is given. The possible influence of the proposed model of the subsystem of automated assembly of rotary transfer machines on the example of body parts on the design of aggregate technological equipment in the context of import substitution is indicated.

**Keywords:** machine tools, machine design, rotary transfer machine, layouts of rotary transfer machines, machine visualization system.

**For citation:** Dalechin A.S., Feofanov A.N. Development of the subsystem model of automated layout of rotary transfer machine on the example of body parts in order to reduce the complexity of designing technological equipment // Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No 1 (68). P. 159–167. (In Russian)