

НАУКОЁМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

№ 11 (65)

2016

Издается с июля 2011 г.

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

Выходит при содействии Ассоциации технологов-машиностроителей

СОДЕРЖАНИЕ

Главный редактор

Заслуженный деятель науки и техники РФ
д.т.н., проф. СУСЛОВ А.Г.

Председатель редакционного совета

чл.-кор. РАН ПРИХОДЬКО В.М.

Зам. председателя редакционного совета

д.т.н., проф. ГРИГОРЬЯНЦ А.Г.

Редакционный совет:

д.ф.-м.н., проф. АМОСОВ А.П. (г. Самара)

д.т.н., проф. АРТЁМОВ И.И. (г. Пенза)

д.т.н., проф. БАЗРОВ Б.М. (г. Москва)

д.т.н., проф. БЕЛОВ В.Д. (г. Москва)

д.т.н., проф. БОЛДЫРЕВ А.И. (г. Воронеж)

д.т.н., проф. БОЧКАРЁВ П.Ю. (г. Саратов)

акад. НАН Беларуси

ВИТЯЗЬ П.А. (г. Минск, Беларусь)

д.т.н., проф. ДЁМИН В.А. (г. Москва)

д.т.н., проф. ЕМЕЛЬЯНОВ С.Г. (г. Курск)

д.т.н., проф. ЗУБАРЕВ Ю.М. (г. Санкт-Петербург)

д.т.н., проф. КИРИЧЕК А.В. (г. Брянск)

д.т.н., проф. КЛИМЕНКО С.А. (г. Киев, Украина)

чл.-кор. РАН ЛЫСАК В.И. (г. Волгоград)

д.т.н., проф. МАКАРОВ В.Ф. (г. Пермь)

д.т.н., проф. МАЛИКОВ А.А. (г. Тула)

д.т.н., проф. МИХАЙЛОВ А.Н. (г. Донецк, Украина)

д.т.н., проф. МОРОЗОВ В.В. (г. Владимир)

д.т.н., проф. МОТРЕНКО П.Д. (г. Ростов-на-Дону)

д.т.н., проф. ОЛЕЙНИК А.В. (г. Москва)

д.т.н., проф. ПОЛЕТАЕВ В.А. (г. Рыбинск)

д.т.н., проф. СИТНИКОВ А.А. (г. Барнаул)

д.т.н., проф. СМОЛЕНЦЕВ В.П. (г. Воронеж)

д.т.н., проф. СХИРТЛАДЗЕ А.Г. (г. Москва)

д.т.н., проф. ФАТЮХИН Д.С. (г. Москва)

д.т.н., проф. ХАНДОЖКО А.В. (г. Брянск)

д.т.н., проф. ХЕЙФЕЦ М.Л. (г. Минск, Беларусь)

д.т.н., проф. ХУДОБИН Л.В. (г. Ульяновск)

д.т.н., проф. ШАВРИН О.И. (г. Ижевск)

Зам. главного редактора

ДЮБКОВА Н.В.

DOI:10.12737/issn.2223-4608

Журнал распространяется по подписке,
которую можно оформить в любом почтовом
отделении индекс по каталогу
«Роспечать» 79195.

Тел. редакции: 8-903-592-87-39

E-mail: naukatm@yandex.ru

www.ntmash.tu-bryansk.ru

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по
надзору в сфере связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации средства массовой
информации ПИ № ФС77-66087 от 10 июня 2016 года

НАУКОЁМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗАГОТОВИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Лебедев В.А., Козырко О.А., Исаков А.В., Чикал А.Г., Галь А.Ф., Драган С.В. Выбор привода для управляемых механических колебаний изделия в технологии дуговой сварки и наплавки с импульсными воздействиями 3

НАУКОЁМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК

К вопросу о совершенствовании основных понятий и определений технологии машиностроения 12

Ермаков Ю.М. Происхождение и отмирание технических терминов, совершенствование понятий и определений в технологии машиностроения 17

Базров Б.М. К вопросу развития теории базирования в машиностроении . . . 20

Поletaев В.А., Цветков Е.В. Сравнительный анализ автоматизированного и неавтоматизированного производства лопаток турбин 25

Ямников А.С., Чуприков А.О., Харьков А.И. Определение составляющих силы резания при точении в зависимости от механических свойств обрабатываемого материала 31

НАУКОЁМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРО-ФИЗИКО- ХИМИЧЕСКОЙ И КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ

Рахмиев Х.М., Гаар Н.П., Локтионов А.А. Особенности активации анодного растворения при лазерно-электрохимической обработке безвольфрамового твердого сплава КНТ-16 в 10%-ном водном растворе нитрата натрия. 37

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ПОДГОТОВКА И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Мушкин О.В., Николаева Н.Д., Труханов В.М. Научно-технологическая технология горизонтирования и вывешивания платформ 44

Журнал входит в перечень утвержденных ВАК при Минобрнауки России изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней по направлению 05.02.00 – Машиностроение и машиноведение

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале «Научно-технологические технологии в машиностроении», допускаются со ссылкой на источник информации и только с разрешения редакции.

SCIENCE INTENSIVE TECHNOLOGIES IN MECHANICAL ENGINEERING

№ 11 (65)

2016

Publishes from July 2011

MONTHLY SCIENTIFIC TECHNICAL AND PRODUCTION JOURNAL

Comes out with assistance of Engineering Technologists Association

Editor-in-chief

Honoured Scientist and Engineer of Russia
d.en.s. SUSLOV A.G.

Chairman of Editorial Committee

m.-corr. RAS PRIHOD'KO V.M.

Chairman Assistant

d.en.s., prof. GRIGOR'YANTS A.G.

Editorial Committee:

d.p.-m.s., prof. AMOSOV A.P. (Samara)

d.en.s., prof. ARTEMOV I.I. (Penza)

d.en.s., prof. BAZROV B.M. (Moscow)

d.en.s., prof. BELOV V.D. (Moscow)

d.en.s., prof. BOLDYREV A.I. (Voronezh)

d.en.s., prof. BOCHKAREV P.Yu. (Saratov)

Acad. NAS of Belarus

VITYAZ' P.A. (Minsk, Belarus)

d.en.s., prof. DEMIN V.A. (Moscow)

d.en.s., prof. EMEL'YANOV S.G. (Kursk)

d.en.s., prof. ZUBAREV Yu.M. (St. Petersburg)

d.en.s., prof. KIRICHEK A.V. (Bryansk)

d.en.s., prof. KLIMENKO S.A. (Kiev, Ukraine)

m.-corr. RAS LYSAK V.I. (Volgograd)

d.en.s., prof. MAKAROV V.F. (Perm')

d.en.s., prof. MALIKOV A.A. (Tula)

d.en.s., prof. MIHAJLOV A.N. (Doneck, Ukraine)

d.en.s., prof. MOROZOV V.V. (Vladimir)

d.en.s., prof. MOTRENKO P.D. (Rostov-on-Don)

d.en.s., prof. OLEJNIK A.V. (Moscow)

d.en.s., prof. POLETAEV V.A. (Rybinsk)

d.en.s., prof. SITNIKOV A.A. (Barnaul)

d.en.s., prof. SMOLENCEV V.P. (Voronezh)

d.en.s., prof. SHIRTLADZE A.G. (Moscow)

d.en.s., prof. FATYUKHIN D.C. (Moscow)

d.en.s., prof. HANDOZHKO A.V. (Bryansk)

d.en.s., prof. HEJFETS M.L. (Minsk, Belarus)

d.en.s., prof. HUDOBIN L.V. (Ul'yanovsk)

d.en.s., prof. SHAVRIN O.I. (Izhevsk)

Deputy chief editor

DJUBKOVA N.V.

DOI:10.12737/issn.2223-4608

Journal is spreaded on a subscription, witch can be issued in any post office (index on the catalogues: «Rospechat» 79195).
Editorial office Ph: 8-903-592-87-39
E-mail: naukadm@yandex.ru
www.ntmash.tu-bryansk.ru

The Journal is registered by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Telecom, Information Technologies and Mass Communications of Russian Federation (ROSKOMNADZOR).

Registration certificate
ПИ № ФС77-66087 от 10.06.2016

CONTENTS

SCIENCE INTENSIVE TECHNOLOGIES IN BLANK PRODUCTION

Lebedev V.A., Kozyrko O.A., Isakov A.V., Chikal A.G., Gal A.F., Dragan S.V. Drive choice for product controlled mechanical oscillations in technology of arc welding and welding deposition with pulse impacts 3

SCIENCE INTENSIVE TECHNOLOGIES OF MACHINING

To the problem of improving basic concepts and definitions of engineering technique 12
Yermakov Yu.M. Origin and extinction of technical terms, improvement of concepts and definitions in engineering technique 17
Bazrov B.M. To problem of basing theory development in mechanical engineering 20
Poletaev V.A., Tsvetkov E.V. Comparative analysis of automated and non-automated production of turbine blades 25
Yamnikov A.S., Chuprikov A.O., Kharkov A.I. Definition of cutting force constituents at turning depending on stress-strain properties of material worked ... 31

SCIENCE INTENSIVE TECHNOLOGIES OF ELECTROMACHINING AND COMBINED PROCESSING

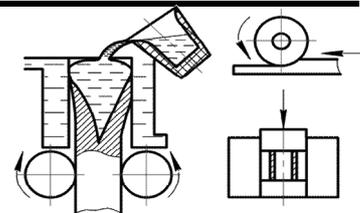
Rakhimyanov Kh.M., Gaar N.P., Loktionov A.A. Peculiarities of anodic dissolution activation at laser-electrochemical treatment of KNT-16 no-tungsten hard alloy in 10 % water solution of sodium nitrate 37

TECHNOLOGICAL PROCESSES AUTOMATED CONTROL

Mushkin O.V., Nikolayeva N.D., Trukhanov V.M. High technology in platforms leveling and weighing 44

A Journal is included in the list of editions approved by HEB at the Ministry of Education and Science of Russia for the publication of competitors' works for agademic degrees in the direction of 05.02.00 – Mechanical Engineering and Science of Machines.

Reprint is possible only with the reference to the journal
«Science intensive technologies in mechanical engineering»



УДК 621. 791. 754. 264
DOI: 10.12737/22573

В.А. Лебедев, д.т.н.,
(Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины,
03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11),
О.А. Козырко, инженер, **А.В. Исаков**, инженер,
А.Г. Чикал, инженер,
(ДМТ Российские морские технологии, г. Санкт-Петербург),
А.Ф. Галь, к.т.н., **С.В. Драган**, к.т.н.,
(Национальный университет кораблестроения,
54025, г. Николаев, просп. Героев Сталинграда, 9)
E-mail: office@paton.kiev.ua, dragan.welding@gmail.com

Выбор привода для управляемых механических колебаний изделия в технологии дуговой сварки и наплавки с импульсными воздействиями

Проведен сравнительный анализ приводов применительно к технологии дуговой сварки и наплавки с управляемыми импульсными воздействиями на изделие. Обоснованы критерии выбора типа привода для управляемых импульсных колебаний изделия и перспективность применения приводов на основе электромеханических актуаторов.

Ключевые слова: сварка; наплавка; изделие; импульсные воздействия; привод; выбор.

V.A. Lebedev, D. Eng.,
(Paton Institute of Electric Welding of NAS of Ukraine, 11, Bozhenko Str, Kiev-150, 03680)
O.A. Kozyrko, Engineer,
A.V. Isakov, Engineer,
A.G. Chikal, Engineer,
(DMT Russian Marine Techniques, Saint-Petersburg),
A.F. Gal, Can. Eng.,
S.V. Dragan, Can. Eng
(National Center of Shipbuilding, 9, Stalingrad Heroes Avenue, Nikolayev, 54025)

Drive choice for product controlled mechanical oscillations in technology of arc welding and welding deposition with pulse impacts

A comparative analysis of drives is carried out in conformity with the technology of arc welding and welding deposition with controlled pulse impacts upon a product. The criteria of the choice of a drive type for controlled pulse oscillations of a product and prospects for drives use on the basis of electro-mechanical actuators are substantiated.

Keywords: welding; welding deposition; product; pulse impacts; drive; choice.

Различные методы и способы импульсных воздействий и колебаний в технологии дуговой сварки и наплавки дают существенное улучшение результатов как по характеристикам и свойствам металла, так и по параметрам

сварного шва или наплавленного валика, а в ряде случаев по существенному сокращению энергетических и материальных ресурсов, повышению производительности технологического процесса.

Применение импульсных воздействий и колебаний, которые зачастую можно также рассматривать как импульсные, достаточно известно и описано в технической литературе [1] в части их применения в различных узлах механизированного и автоматического оборудования для дуговой сварки и наплавки. К их числу, например, относится импульсная подача электродной проволоки, колебательные движения сварочной головки для расширения зоны формирования наплавленного валика или заполнения разделки при сварке.

Для этих способов сварки и наплавки разработано достаточно эффективное оборудование с обоснованным выбором видов и характеристик приводных систем как основных узлов. Кроме этого, задача конструирования в некоторой степени облегчается определёнными ограничениями по массо-габаритным характеристикам узлов сварочно-наплавочного оборудования.

Менее известны способы наплавки с применением импульсных колебаний сварочной ванны [2], которые оказывают влияние на параметры ее кристаллизации и обуславливают прочностные, ресурсные и другие качества сварных соединений и наплавленных слоев. При этом имеются достаточно перспективные результаты при реализации процесса с управляемыми по параметрам колебаниями.

В работе [3] представлен новый способ дуговой сварки и наплавки изделий в форме тел вращения, повышающий эффективность технологического процесса путем импульсных механических колебаний изделия с управляемой частотой, амплитудой и скважностью.

Исследуются технологические возможности различного рода колебаний (поперечные, продольные, комбинированные) с управляемыми параметрами при наплавке плоских изделий [4]. Есть достаточно серьезные основания в перспективности промышленного применения этого способа. Объекты применения – штамповый инструмент, рабочие органы сельскохозяйственной и некоторых видов землеройной техники и другое, где необходимо придание узлам необходимых служебных характеристик при минимальных затратах и простоте реализации.

Получение необходимых усилий в перемещениях в технологии дуговой сварки и наплавки с управляемыми колебаниями изделия является непростой технической задачей и требует решений по интегрированию в единой установке нескольких систем различной архитектуры и возможно с различными энерго-

носителями.

Энергосиловым устройством для создания управляемых колебательных движений изделия является привод, состоящий из источника энергии, передаточного механизма и системы управления.

Цель настоящей работы заключается в анализе существующих известных типов приводов и определении наиболее эффективных из них в соответствии с условиями требуемых импульсных колебаний изделия.

Анализ технической литературы, а также других технических материалов позволил выделить основные известные и используемые типы приводов в области механизмов различных назначений.

В зависимости от вида используемой энергии приводы подразделяют на электромеханические, гидравлические и пневматические.

Очевидно, что вид энергоносителя обуславливает преимущества и недостатки привода по различным критериям, обобщённо представленных в табл. 1 [5]. Рассмотрим основные типы приводов.

К числу электроприводов, прежде всего, следует отнести широко используемые электрические двигатели постоянного и переменного тока.

Наиболее применимыми в сварочном оборудовании являются коллекторные двигатели постоянного тока, в частности с постоянными магнитами. Такие двигатели, обладая большим пусковым моментом, имеют относительно небольшую стоимость в изготовлении и относительно просты в управлении.

Существенным преимуществом коллекторных электродвигателей является широкий диапазон используемых напряжений питания, что очень важно для сварочного оборудования, работающего в самых разных условиях. Основным конструктивным недостатком данного типа привода является наличие щеток, которые снижают характеристики надёжности двигателя. В частности, это касается коммутации повышенных напряжений, подаваемых на обмотку якоря для реализации импульсных ускорений.

Последний факт мало описан в технической литературе и требует отдельных исследований, хотя с отрицательным влиянием этого фактора авторам приходилось сталкиваться при осуществлении управляемых импульсных подач электродной проволоки, что, в свою очередь, вынудило решать задачи с выбором альтернативных приводных систем.

Двигатели переменного тока являются са-

мыми дешевыми в изготовлении, эксплуатации и подразделяются на асинхронные и синхронные.

Нерегулируемые асинхронные электроприводы весьма сложно адаптировать для работы в системах колебательного движения с управляемыми параметрами. Перспективными в этом случае являются частотно управляемые

асинхронные электроприводы. Сдерживает их использование достаточно высокая стоимость системы управления и, что очень важно для сварочно-наплавочного оборудования, ограничение в выборе напряжения питания для работы в условиях повышенной опасности, где преимущественно и работает сварочно-наплавочное оборудование.

1. Оценка приводов для управляемых механических колебаний изделия в технологии дуговой сварки и наплавки

Критерий	Электроприводы	Гидроприводы	Пнеumoприводы
Затраты на энергоснабжение	Низкие	Высокие	Очень высокие
Передача энергии	На неограниченное расстояние со скоростью света 300 000 км/с	На расстояние до 100 м со скоростью до 6 м/с	На расстояние до 1 000 м со скоростью до 40 м/с
Накопление энергии	Затруднено	Ограничено	Легко осуществимо
Линейное перемещение	Затруднительно, дорого, малые усилия	Просто, большие усилия, хорошее регулирование скорости	Просто, небольшие усилия, скорость зависит от нагрузки
Вращательное движение	Просто, высокая мощность	Просто, высокий крутящий момент, невысокая частота вращения, широкий диапазон регулирования	Просто, невысокий крутящий момент, высокая частота вращения
Рабочая скорость исполнительного механизма	Зависит от конкретных условий	До 1,5 м/с	1,5 м/с и выше
Усилия	Большие усилия, не допускаются перегрузки	Усилия до 3 000 кН и выше, защищены от перегрузок	Усилия до 30 кН, защищены от перегрузок
Точность позиционирования	±1 мкм и выше	До ±1 мкм	До 0,1 мм
Жесткость	Высокая (используются механические промежуточные элементы)	Высокая (гидравлические масла практически несжимаемы)	Низкая (воздух сжимаем)
Утечки	Нет	Создают загрязнения	Нет вреда, кроме потерь энергии
Влияние окружающей среды	Нечувствительны к изменению температуры	Чувствительны к изменениям температуры, пожароопасны при наличии утечек	Практически нечувствительны к изменениям температуры, взрывобезопасны

В синхронных двигателях вращение ротора осуществляется синхронно с вращением магнитного поля статора, а в асинхронных двигателях такой зависимости нет, и магнитное поле может вращаться быстрее ротора.

Для эффективного технического решения задач дуговой сварки и наплавки с управляемыми параметрами механических импульсных колебаний изделия может представлять интерес один из видов синхронного двигателя – шаговый двигатель. Такой двигатель позволяет осуществлять вращение ротора на строго заданный угол без использования датчика угла поворота с достаточно большими крутящими моментами и точным позиционированием вала.

Авторами уже разработано достаточно большое количество различных видов сварочного оборудования различного назначения, чтобы сделать вывод о целесообразности и эффективности применения в нём комплектных электроприводов с шаговыми электродвигателями. Здесь можно отметить малые габариты электродвигателей, надёжность, помехозащищённость и др.

Бесколлекторные (вентильные) двигатели, имеющие высокие динамические характеристики, можно рассматривать как весьма перспективные для реализации импульсного движения с управляемыми характеристиками. Однако использование дорогостоящих редкоземельных магнитов в конструкции вентиль-

ных двигателей делают их достаточно дорогими, а стоимость системы управления характеристиками таких двигателей дороже самого электродвигателя. До настоящего времени в ИЭС им. Е.О. Патона создан ряд оборудования с применением вентильных электроприводов, которые пока можно отнести к числу уникальных.

Конструктивно большинство коллекторных электродвигателей обладают высокими значениями частот вращения валов и относительно низкими крутящими моментами, что в значительной степени не соответствует параметрам требуемых импульсных воздействий по скорости и силовым воздействиям, необходимых для колебания наплавливаемых или свариваемых изделий.

Для преодоления этого несоответствия требуется применение механических редукторов, позволяющих преобразовать высокую угловую частоту вращения вала двигателя в более низкую и увеличивать величину вращающего момента.

Существенным недостатком такого технического решения, кроме повышенной материалоемкости, является конструктивный люфт (свободный ход) редуктора, который требует некоторой величины движения передающего элемента механической системы для получения отклика управляемого элемента системы и определяет степень поворота двигателя, которая не приводит к изменениям в управляемой системе и, таким образом, затрудняет управление параметрами механического импульсного воздействия.

Реализация необходимых перемещений возможна с использованием исполнительных механизмов – линейных и поворотных актуаторов.

Линейный актуатор на основе электродвигателей представляет собой систему позиционирования, в основе которой лежит преобразование вращательного момента электродвигателя в поступательное движение штока. Такое устройство может включать в себя двигатель, редуктор, датчик поворота ротора двигателя и концевой выключатель.

Более эффективным устройством привода управляемых импульсных возвратно-поступательных колебаний изделия вдоль его оси можно считать штоковые актуаторы (рис. 1), которые являются наиболее распространенным типом линейных электроприводов.

Подвижным элементом в этих актуаторах служит шток – телескопическая трубка, чаще

всего круглого сечения. В сложенном состоянии шток находится внутри корпуса, а при необходимости выдвигается из него. Механический привод осуществляется винтовой передачей скольжения или качения. Один из концов винта соединен со штоком, а на другом установлена гайка, которую вращает двигатель через редуктор. Это может быть коллекторный двигатель постоянного тока с напряжением питания 12/24 В или асинхронный двигатель переменного тока на 220/380 В.



Рис. 1. Штоковый актуатор

Максимальное усилие, которое развивают линейные актуаторы, может составлять от нескольких сотен до десятков тысяч ньютонов. Скорость перемещения штока может достигать нескольких десятков сантиметров в секунду. Длина хода ограничивается только прочностью конструкции актуатора.

При этом любой меньший ход может быть установлен с помощью опциональных регулируемых концевых выключателей. Среди опций также герконы – беконтактные выключатели, датчики Холла и потенциометры, которые позволяют считывать данные о положении штока и программируемо управлять параметрами его хода, включая частоту, амплитуду и скважность импульса.

Электромеханические актуаторы также позволяют эффективно осуществлять и круговые высокочастотные возвратно-поступательные перемещения с управляемыми параметрами импульсных колебаний. Поэтому использование электромеханических актуаторов позволяет в полном объеме обеспечить необходимые технологические процессы, а также научные исследования в области дуговой сварки и наплавки с управляемыми импульсными колебаниями изделия и, по

мнению авторов, является одним из наиболее эффективных технических решений по выбору привода для обеспечения управляемых колебательных движений практически любого характера. Можно констатировать, что актуаторы – это весьма перспективное направление в создании колебательных систем для применения в системах сварочного оборудования.

В гидравлических исполнительных механизмах происходит преобразование гидравлической энергии в механическую работу, которая позволяет осуществлять все виды движения без использования каких-либо передаточных устройств. При этом задачи бесступенчатого регулирования скорости, торможения и защиты системы от перегрузки решаются относительно просто.

Следует отметить, что в некоторых случаях в качестве приводных элементов можно применять электромагниты, и такой опыт есть. Однако сфера их применения весьма ограничена: требуется разработка специальных электромагнитов, а точное управление ими достаточно сложная задача.

К гидравлическим приводам относятся гидравлические насосы различных типов (шестеренные, пластинчатые, поршневые, винтовые).

Использование гидроприводов целесообразно в системах, где требуются большие механические усилия.

К пневматическим приводам относятся пневмоцилиндры и пневматические двигатели. В качестве рабочего тела в этом виде приводов выступает атмосферный воздух, который по причине отсутствия вязкости позволяет работать пневматическим двигателям на достаточно большой частоте. Поэтому пневматический привод целесообразно использовать для механизмов возвратно-поступательного движения с большой частотой следования циклов.

Способ дуговой сварки и наплавки с управляемым механическими колебаниями изделия предполагает создание технологических перемещений изделия – линейных (возвратно-поступательных) и поворотных (возвратно-поворотных) перемещений.

В сварочном оборудовании для рассматриваемых в настоящей работе движений пневматические и гидравлические системы практически не применяются, хотя схемы с такими решениями возможны.

Различают три основных типа гидравлических исполнительных механизмов:

- линейные гидродвигатели – гидравличе-

ские цилиндры;

- поворотные гидродвигатели;
- гидродвигатели вращательного движения – гидромоторы.

Пневматические исполнительные механизмы также могут реализовывать все три вида движения:

- линейное – пневматические цилиндры;
- поворотное – пневмодвигатели;
- вращательное – пневмомоторы.

Система привода на основе пневмоавтоматики позволяет в полном объеме решить техническую задачу управляемых импульсных механических колебаний изделия в диапазоне требуемых частот, амплитуд, скважности и усилий без ограничений со следующим рядом значительных преимуществ:

– сжатый воздух перемещается с большой скоростью, что дает возможность получить высокую скорость движения поршня и малое время реверсного переключения;

– пневматические приводы и исполнительные механизмы не боятся перегрузки и поэтому могут нагружаться вплоть до полной остановки;

– сжатый воздух относительно нечувствителен к колебаниям температуры, что гарантирует надежную работу пневмосистем даже в экстремальных условиях;

– воздух имеется в неограниченном количестве, может накапливаться в резервуарах и использоваться по мере необходимости;

– пневмоэлементы просты в производстве и поэтому имеют относительно низкую стоимость.

Существуют также и более экзотические актуаторы:

- пневматический мускул, который, по сути, является пневмодвигателем и в отличие от пневмоцилиндров совершает линейное движение посредством расширения в боковых направлениях;
- электроактивные полимеры, которые способны изменять свой размер и форму под воздействием электрического поля.

Эти решения имеют огромный потенциал в робототехнике и представляют технологический интерес в формате реализации управляемых импульсных механических воздействий на изделие при дуговой сварке и наплавке.

Приведём примеры разработок систем колебательного движения для изделий различной геометрической формы. На рис.2 представлена установка автоматической дуговой наплавки тел вращения с управляемыми продольными возвратно-поступательными им-

пульсными колебаниями изделия.

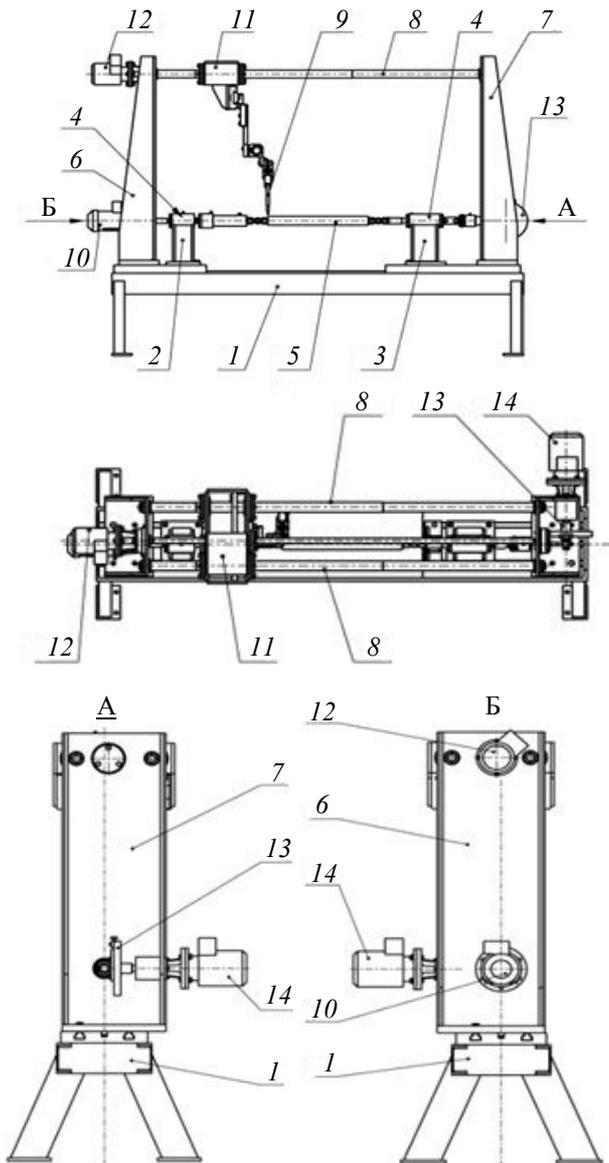


Рис. 2. Установка автоматической дуговой наплавки тел вращения с управляемыми импульсными механическими колебаниями изделия:
 1 – платформа; 2 – левая опора; 3 – правая опора;
 4 – устройство фиксации; 5 – изделие; 6 – левая стойка;
 7 – правая стойка; 8 – направляющая; 9 – сварочная головка; 10 – привод вращения; 11 – механизм с передачей; 12 – привод горизонтально-продольного перемещения; 13 – кривошипно-шатунный механизм; 14 – привод продольных возвратно-поступательных колебаний изделия

Модель установки относится к области машиностроения, в частности к оборудованию для автоматической электродуговой наплавки гребных валов, грузовых валов лебедок различного назначения, реборд колес грузовых железнодорожных вагонов, поверхностей качения крановых колес и др. Выполнять им-

пульсные возвратно-поступательные колебания изделия вдоль оси вращения детали предлагается асинхронным электрическим двигателем при помощи кривошипно-шатунного механизма. Система управления электрическим приводом с кривошипно-шатунным механизмом позволяет создать синусоидальные колебания изделия вдоль его оси с частотой от 0,5 до 15 Гц и амплитудой колебаний до 2,5 мм.

Для наплавки стального вала $\varnothing 50$ мм и длиной 500 мм потребуется асинхронный электродвигатель АИР63А6, IM3001, 180 Вт, 1000 (860) об/мин с частотным управлением. Расчетный крутящий момент на двигателе 0,1 Н·см.

Следует отметить, что недостатком такого технического решения является неудобство управления амплитудой, которое требует каждый раз смены кулачковых элементов, а также невозможность управления формой импульса, включая его скважность.

На рис. 3 представлена установка для наплавки плоских тел с их колебаниями различной формы и в разных направлениях.

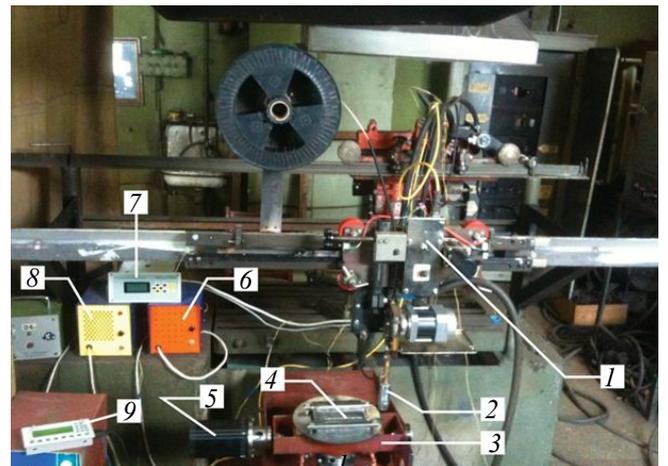


Рис. 3. Установка автоматической дуговой наплавки плоских тел с управляемыми импульсными механическими колебаниями изделия:
 1 – общий пульт управления; 2 – сварочная горелка;
 3 – колеблющаяся платформа; 4 – наплавляемое изделие; 5 – система управления; 6 – блок питания электроприводов; 7 – измеритель параметров колебаний; 8 – блок питания системы управления; 9 – блок формирования задания

Получение высоких результатов оказалось возможным лишь с применением в качестве приводов высокомоментных шаговых и вентильных электродвигателей специальной разработки с компьютеризованными системами управления и регулирования. При этом оказалось возможным создать колебания изделия с

регулируемыми частотами и амплитудами. Точность выполнения колебательных движений обеспечивается, в том числе, и отсутствием промежуточных преобразователей движения.

Представленная установка для колебаний плоских тел используется для наплавки матриц штампового инструмента, рабочих узлов сельскохозяйственной и строительно-дорожной техники относительно небольшой массы (до 20...25 кг) с частотами порядка 5...12 Гц.

Важнейшим вопросом разработки систем колебаний изделия при сварке-наплавке является выбор оптимальной мощности привода.

В практике авторов основными используемыми приводами были приводы на основе различных типов электродвигателей, что и обусловило выбор методики расчёта их силовых характеристик.

Рассматриваемые электроприводы характеризуются периодическим изменением момента нагрузки. На рис. 4 представлен момент сопротивления при симметричных колебаниях наплавляемых плоских изделий (матрицы штампового инструмента).

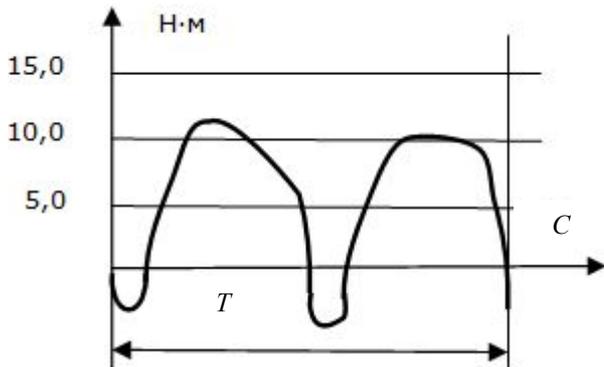


Рис. 4. Осциллограмма изменения момента сопротивления матрицы при её наплавке с колебаниями относительно направления перемещения дуги ($T = 0,1$ с – период колебаний)

Можно заметить, что вследствие ряда факторов сварочного производства, рассматриваемые колебательные движения, как правило, подчинены статистическим закономерностям и могут быть описаны детерминированными временными зависимостями достаточно приближённо.

Изменение момента двигателя $m_d(t)$ при определённом моменте сопротивления $m_c(t)$ можно описать уравнением движения жёсткой механической системы [6], которым является устройство колебаний наплавляемого изделия:

$$m_d(t) = m_c(t) + J \frac{d\omega}{dt}, \quad (1)$$

где J , ω – общий момент инерции колебательной системы и круговая частота колебательного движения соответственно.

В связи с тем, что точность выбора оптимального по моменту электродвигателя оказывает непосредственное влияние на его цену и массо-габаритные характеристики оборудования в целом, есть необходимость в достаточно точном учёте составляющих выражения (1). Функция $m_c(t)$, являющаяся, очевидно, периодической при разложении в ряд Фурье по синусам, может быть записана в следующем виде:

$$m_c(t) = M_{c0} + M_{c1} \sin(\omega_c t + \varphi_1) + M_{c2} \sin(\omega_c + \varphi_2) + \dots, \quad (2)$$

где M_{c0} – постоянная составляющая момента; M_{c1} , M_{c2} – амплитуды других составляющих момента; ω_c – круговая частота основной гармоники момента сопротивления; φ_1 , φ_2 – фазовые углы.

Аналогично определяется $m_d(t)$

$$m_d(t) = M_0 + M_1 \sin(\omega_c t + \varphi_1 + \psi_1) + \sin(2\omega_c t + \varphi_2 + \psi_2) + \dots, \quad (3)$$

где составляющие момента электродвигателя могут быть определены как $M_0 = M_{c0}$;

$$M_n = M_{cn} \frac{1}{\sqrt{1 + (n\omega_c T_m)^2}}, \quad \text{где в свою очередь}$$

редь $\psi_n = -\arctg n\omega_c T_m$; $n = 1, 2, 3, \dots$;

$$T_m = \frac{J\Omega_0}{M_k} - \text{механическая постоянная вре-$$

мени привода, (Ω_0 – угловая частота вращения холостого хода двигателя; M_k – момент короткого замыкания).

Из выражений (2), (3) следует важный вывод: с увеличением величины $m\omega_c T_c$ влияние импульсного характера движения привода снижается, при этом также снижается быстродействие системы. В этом случае необходимо искать оптимальное техническое решение, что выполняется, в том числе, при синтезе регулятора электропривода.

Эти заключения совместно с выработанными авторами методиками, учитывающими работу регуляторов [7], можно принять за осно-

ву выбора промышленно выпускаемого электродвигателя и настройке регулятора к нему.

Несколько другой подход необходим в случае применения новых разработок электродвигателей, в частности, вентильного типа [8].

Электродвигатели для реализации импульсных воздействий должны иметь высокий уровень быстродействия, характеризующийся теоретическим угловым ускорением ε ротора электродвигателя без нагрузки на валу под действием максимального (пускового) момента M электродвигателя:

$$\varepsilon = \frac{M}{J_R}, \quad (4)$$

где J_R – момент инерции ротора.

Момент электродвигателя зависит от геометрических размеров ротора – диаметра D и длины активной части L :

$$M = \frac{D^2 L}{C_A}, \quad (5)$$

где C_A – машинная постоянная Арнольда.

Момент инерции ротора, как цилиндрического тела с однородной массой, рассчитывается по формуле

$$J_R = \frac{\gamma \pi}{32 D^4 L}. \quad (6)$$

Максимальное теоретическое ускорение:

$$\varepsilon = \frac{32}{C_A \gamma \pi D^2}. \quad (7)$$

Из полученного выражения видно, что теоретическое ускорение обратно пропорционально второй степени диаметра ротора D . Поэтому для вентильного электродвигателя импульсной подачи проволоки принят размер диаметра ротора меньше его длины. Это положение хорошо вписывается в концепции конструирования механизмов сварочного оборудования.

Для опытного образца отношение длины активной части ротора к его диаметру составляет $L/D = 1,33$ и $\varepsilon = 13000 \text{ с}^{-2}$. Это позволяет эффективно решать задачи конструирования сварочного оборудования с механизмами колебаний изделия типа штампового инструмента и обеспечивать требуемый диапазон частот

отработки импульсных характеристик при достаточных значениях момента на валу электродвигателя (не менее 100 Н·м).

Выводы

1. Управляемые импульсные механические колебания изделия при дуговой сварке и наплавке могут быть достигнуты различными средствами и при выборе типа исполнения привода необходимо принимать во внимание следующий ряд основных критериев: вид движения – поворотное или линейное; направление движения – реверсивное или нереверсивное; скорость вращения (угловая) или перемещения (линейная); величина (амплитуда) поворотного и линейного перемещений; частота и скважность импульса; крутящий момент или линейное усилие; стоимость технического решения; надёжность.

2. В настоящее время для решения практических задач сварки и наплавки с управляемыми колебаниями изделия предпочтение следует отдавать современным конструкциям электроприводов, включая вентильные двигатели и различные системы актуаторов, хотя в некоторых случаях эффективными могут быть и другие приводы, в том числе пневматические и гидравлические.

3. Выбор оптимальных силовых характеристик электродвигателя и параметров системы управления должен базироваться на тщательном изучении динамики движения колебательной системы. При этом, если имеется возможность новой разработки электродвигателя, например вентильного, необходимо учитывать особенности колеблющейся системы ещё на стадии разработки электродвигателя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лебедев, В.А., Сараев, Ю.Н., Драган, С.В., Козырко, О.А. Импульсные алгоритмы функционирования в механизированном оборудовании для дуговой сварки (состояние и перспективы) // Заготовительные производства в машиностроении. 2015. № 4. С. 10-20.
2. Лендел, И.В. Исследование технологических возможностей дуговой сварки и наплавки с импульсной подачей электродной проволоки // Научно-технические технологии в машиностроении. 2015. № 9(51). С. 20-25.
3. Лебедев, В.О., Козырко, О.А., Драган, С.В., Галь, А.Ф. Спосіб дугового зварювання або наплавлення. Патент України на корисну модель № 101999. Публікація відомостей 12.10.2015. Бюл. № 19.
4. Лебедев, В.О., Максимов, С.Ю., Лендел, И.В. Универсальный манипулятор с возможностью низкочастотной

вібраційної обробки зварювальної ванни. Патент України на корисну модель № 80823. Публікація відомостей 10.06.2013, Бюл. № 11.

5. Наземцев, А.С., Рыбальченко, Д.Е. Пневматические и гидравлические приводы и системы. Часть 2. Гидравлические приводы и системы / М.: Форум, 2007. – 304 с.

6. Doncker R. Advanced Electrical Drives. Analysis, Modeling, Control. Новейшие электроприводы. Анализ, проектирование, управление: / R. Doncker: Springer, 2011. - 453 с.

7. Лебедев, В.А. Повышение эффективности сварочного оборудования на основе исследования импульсных воздействий в системе подачи электродной проволоки // Дисс. на соискание учёной степени докт. техн. наук. Киев. 2009 г.

8. Лебедев, В.А., Гулый, М. В. Быстродействующий вентильный электропривод для оборудования механизированной дуговой сварки // Мехатроника. Автоматизация, Управление. 2014. № 6. С. 47-51.

REFERENCES

1. Lebedev, V.A., Sarayev, Yu.N., Dragan, S.V., Kozyrko, O.A. Pulse algorithms of functioning in mechanized equipment for arc welding (state and prospects) // *Blank Productions in Mechanical Engineering*. 2015. № 4. pp. 10-20.

2. Lendel, I.V. Research of technological capabilities of arc welding and building-up with pulse feed of electrode wire (review and analysis) // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. 2015. № 9(51). pp. 20-25.

3. Lebedev, V.O., Kozirko, O.A., Dragan, S.V., Gal, A.F. Method of arc welding. *Patent of Ukraine for Utility Model № 101999*. Bulletin of Publications 12.10.2015. Bull. № 19.

4. Lebedev, B.O., Maximov, S.Yu., Lendel, I.V. Universal model with low-frequency vibration treatment of molten metal. *Patent of Ukraine for Utility Model № 80823*. Bulletin of Publications 10.06.2013, Bull. № 11.

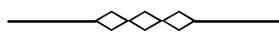
5. Nazemtsev, A.S., Rybalchenko, D.E. Pneumatic and hydraulic drives and systems. Part 2. *Hydraulic Drives and Systems* / М.: Forum, 2007. – pp. 304.

6. Doncker R. *Advanced Electrical Drives. Analysis, Modeling, Control*: / R. Doncker: Springer, 2011. – pp. 453.

7. Lebedev, B.A. *Welding Equipment Efficiency Increase Based on Pulse Impacts Investigations in System of Electrode Wire Feed* // Thesis for competition of D. Eng. degree. Kiev. 2009 г.

8. Lebedev, B.A., Guly, M. V. Fast-acting valve electric drive for mechanized arc welding equipment // *Mechatronics, Automation, Management*. 2014. № 6. pp. 47-51.

Рецензент д.т.н. А.Ю. Албагачиев



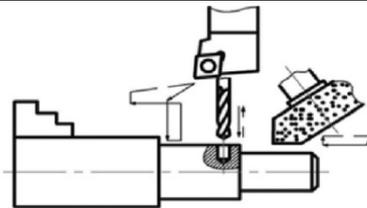
Реклама Вашей продукции в нашем журнале – один из способов достижения Вашего успеха!

Журнал «Научно-технические технологии в машиностроении» читают руководители и специалисты предприятий машиностроительного комплекса.

Публикация рекламного объявления в нашем журнале даст Вам возможность:

- найти партнеров, заинтересованных в современных исследованиях, а также внедрении Ваших идей и разработок в области машиностроения;
- установить контакты с организациями и фирмами России и стран ближнего и дальнего зарубежья;
- наладить обмен информацией.

Обращайтесь в редакцию! E-mail: naukatm@yandex.ru



К вопросу о совершенствовании основных понятий и определений технологии машиностроения

Научноёмкие технологии, оборудование и технологическая оснастка поставили перед технологами задачу - совершенствование основных понятий и определений технологии машиностроения.

В 2014 г. в № 10(40) нашего журнала впервые была опубликована дискуссионная статья авторов Д.С. Пахомова, С.Ф. Магницкой «Уточнение терминов и определений основных понятий в области технологических процессов обработки заготовок». Учитывая, что в дальнейшем в журнале не была продолжена дискуссия по данному вопросу, то было решено провести в рамках одной из технологических конференций научно-методический семинар по данной проблеме. Такой семинар был проведен в рамках конференции «Научноёмкие технологии на современном этапе развития машиностроения» (19-20 мая 2016 г., МАДИ).

Далее приводится протокол и решение данного научно-методического семинара, статья д.т.н., проф. Ю.М. Ершова «Происхождение и отмирание технических терминов» и статья д.т.н. Б.М. Базрова, касающаяся совершенствования терминологии в вопросах базирования.

Уважаемые читатели! Ваши предложения по совершенствованию основных понятий и определений в технологии машиностроения прошу направлять на электронный адрес

E-mail: naukatm@yandex.ru.

*Главный редактор журнала
д.т.н., проф. А.Г. Суслев*

**Протокол
заседания научно-методического семинара
«Совершенствование и корректировка основных понятий и определений
в технологии машиностроения»**

19 мая 2016г., г. Москва,
Московский государственный автомобильно-дорожный университет (МАДИ)

Список участников научно-методического семинара:

- | | |
|--|------------------------------------|
| 1. Заслуженный деятель науки и техники РФ,
д.т.н., проф. Безъязычный В.Ф. | 10. Д.т.н., проф. Федонин О.Н. |
| 2. Заслуженный деятель науки и техники РФ,
д.т.н., проф. Суслев А.Г. | 11. Д.т.н., проф. Киричек А.В. |
| 3. Лауреат Ленинской премии,
д.т.н., проф. Базров Б.М. | 12. Д.т.н., проф. Хандожко А.В. |
| 4. Д.т.н., проф. Волчкевич И.Л. | 13. Д.т.н., проф. Петрешин Д.И. |
| 5. Д.т.н., проф. Макаров В.Ф. | 14. Чл.- кор. РАН Приходько В.М. |
| 6. Д.т.н., проф. Бржозовский Б.М. | 15. Д.т.н., проф. Фатюхин Д.С. |
| 7. Д.т.н., проф. Бочкарев П.Ю. | 16. Д.т.н., проф. Чигиринский Ю.Л. |
| 8. Д.т.н., проф. Ершов Ю.М. | 17. К.т.н., проф. Пухальский В.А. |
| 9. Д.т.н., проф. Янюшкин А.С. | 18. Д.т.н., проф. Житников Ю.З. |
| | 19. Д.т.н., проф. Ермаков Ю.М. |
| | 20. К.т.н., проф. Зубарев Ю.М. |
| | 21. Д.т.н., проф. Варганов М.В. |

Повестка заседания:

Обсуждение основных понятий в технологии машиностроения и необходимость их корректировки.

Выступили:

1. Доктор технических наук, профессор В.Ф. Безъязычный

Существующая в настоящее время в нашей стране система терминов и определений в технологии машиностроения сложилась в начале двадцатого столетия на основе научной деятельности выдающихся ученых технологов Соколовского А.П., Маталина А.А., Балакшина Б.С., Каширина А.И., Кована В.М. и др., а также их учеников. Как правило, термины и определения взаимосвязаны с достижениями в области технологии изготовления изделий, а также уровнем развития средств производства (оборудование, оснастка, инструмент и др.). В связи с прогрессом в области технологии машиностроения термины и определения могут вступать в противоречие между собой, а также быть неоднозначными для понимания инженерно-техническими работниками, учеными, а также в учебном процессе при подготовке специалистов.

Так, например, ГОСТ14.0004-83 «Технологическая подготовка производства» (поз.43) *производственный процесс* определяет как «...– совокупность всех действий людей и орудий труда, необходимых на данном предприятии для изготовления и ремонта продукции».

Если вдуматься в написанное, то оно верно и понятно для специалиста. Но такое определение трудновато для студента. Для него более понятным является такое определение: «*Производственным процессом* называется процесс превращения сырья, материалов и полуфабрикатов в готовую заводскую продукцию».

Аналогично понятие *установ* (п.54) определяется как «...– часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемой сборочной единицы».

Но часто под установом на производстве понимают другой смысл: *установ* – процесс укладки заготовки перед обработкой на станок или приспособление.

Также понятие *припуск* (п.67) определяется как «...– слой материала, удаляемый с поверхности заготовки в целях достижения заданных свойств обрабатываемой поверхности». А если это упрочняющие технологии (обкатка, алмазное выглаживание, дорнование)? Припуск не удаляется!

Раздел этого же стандарта «Элементы технологических операций» (п.55) – *позиция*. Фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой или собираемой сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования при выполнении определенной части операции.

Неопределенность этого термина в настоящее время объясняется различным содержанием, которое в него вкладывается. При обработке деталей на современных высокопроизводительных станках позицию можно рассматривать применительно к детали, станку и инструменту. Так, например:

А. *Позицией* называется каждое из различных положений детали, принимаемое ею за период обработки, в котором она фиксируется на станке вместе с приспособлением.

Б. *Позицией* называется каждое из положений стола станка, силовых головок, суппортов или других рабочих органов, в котором они фиксируются за один цикл работы станка.

В. *Позицией* называется каждое из различных положений инструмента относительно станка в тех случаях, когда изменение положения инструмента производится при помощи специального механизма. Например, различают позиции револьверной головки при обработке детали на револьверном станке, токарном автомате или другом станке, имеющем такую головку.

Позиции бывают рабочие, установочные (загрузочные) и запасные. Однако ГОСТ3.1109-82 таких терминов не имеет.

В ГОСТ 3.1109-82 в разделе «Технологические процессы и операции» (п. 27) *механическая обработка* определяется как обработка давлением или резанием. А куда относить виброупрочняющие и др. методы обработки (они тоже механические)?

Тем не менее, корректировка терминов должна выполняться очень осторожно и не революционно.

2. Доктор технических наук, профессор И.Л. Волчкович

Предлагается: сохранить в максимальной степени существующую структуру терминов технологии машиностроения, проведя выборочную коррекцию части определений, для которых существует в этом объективная необходимость.

Так, например, предлагается коррекция определений основных терминов, определяющих структуру технологического процесса.

Термин	Ключевой признак	Предлагаемое определение
Технологический процесс	Предмет труда	Сохранить существующее определение: «Часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояние предмета труда»
Технологическая операция	Рабочее место	Сохранить существующее определение: «Законченная часть технологического процесса, выполняемого непрерывно на одном рабочем месте». Вариант коррекции: «Законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте»
Установ	Схема установки	Скорректированный термин: «Законченная часть технологической операции, выполняемая при неизменной установке предмета труда»
Технологический переход	Инструмент	Скорректированный термин: «Законченная часть технологической операции, выполняемая непрерывно одним инструментом»
Рабочий ход	Перемещение	Скорректированный термин: «Законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного относительного перемещения инструмента и предмета труда и включающая в себя изменение и определение состояния предмета труда»

Предложения по согласованию терминов

Термин	Определение (Вариант 1)	Определение (Вариант 2)
Основное время (Технология машиностроения)	Существующий термин: «Часть штучного времени, затрачиваемая на изменение и (или) последующее определение состояния предмета труда»	Скорректированный термин: «Часть штучного времени, непосредственно затрачиваемая на изменение и (или) определение состояния предмета труда»
Основные технологические функции (теория автоматизации)	Скорректированный термин: «Деятельность, непосредственно направленная на изменение и (или) определение состояния предмета труда».	Скорректированный термин: «Деятельность, непосредственно направленная на изменение и (или) определение состояния предмета труда»

В принципе уточнение терминологии актуально.

3. Доктор технических наук, профессор В.Ф. Макаров

1. Основные термины по технологии машиностроения созданы в 30...40 гг. XX века.
2. Многие понятия и определения требуют корректировки в связи с развитием техники, современного оборудования и появлением новых технологий.

3. Предлагается уточнить определение понятия **«Технология машиностроения»** – это наука, устанавливающая на основе теории и практики основные закономерности и взаимосвязи условий производства изделий машиностроения с целью обеспечения высокой производительности труда, требуемого качества изделий и снижения себестоимости производства.

4. Предлагается уточнить понятие **технологическая операция** применительно к обработке на многоосевых, многокоординатных станках и обрабатывающих центрах. Сегодня на таком станке возможно применять различные инструменты с приводными двигателями, с поступательным движением заготовки относительно неподвижного инструмента, поэтому такую операцию можно назвать *комплексной технологической операцией*, происходящей на одном рабочем месте при одной установке заготовки путем последовательной обработки различных поверхностей заготовки различными видами режущих инструментов.

5. Изменить понятие **концентрация операций**. Раньше это понятие касалось агрегатных станков. Сегодня применение агрегатных станков значительно сократилось. Однако происходит *концентрация операций* на обрабатывающих центрах. Если раньше были операции точения, фрезерования, сверления, долбления шлицев, протягивания, то сегодня это можно выполнять последовательно на одном станке. Здесь сложно дать определение, но обозначить этот технологический момент в техпроцессе нужно обязательно.

4. Доктор технических наук, профессор Бочкарев П.Ю.

ГОСТ 3.1109-82 и ГОСТ 14.004-83 создавались большими творческими коллективами и, как и каждый стандарт, проходили широкую апробацию в несколько этапов. Их отличает преемственность и логическое единство подхода, четкая структуризация, лаконичность, рациональный уровень детализации понятий, раскрывающий смысл, но оставляющий место для определенной широты их использования («Установленные определения можно, при необходимости, изменять по форме изложения, не допуская нарушения границ понятий» – ГОСТ 14.004-83). В стандартах приведены эквивалентные иностранные термины.

В настоящее время существуют не менее важные, чем «расширение технологических возможностей оборудования в обрабатывающем производстве» для рассмотрения вопроса терминологии в технологии машиностроения факторы. В первую очередь – это **взаимосвязь со смежными отраслями науки и техники** (разработка и функционирование систем автоматизированного производства, управление и организация производства, математическое моделирование и др.), когда использование одинаковых определений затрудняет понимание решаемых задач.

Кроме этого, необходимо проведение постоянного мониторинга соответствия используемой терминологии международным стандартам.

Таким образом, несомненно, существует требование определенных корректировок и уточнений в нормативной базе, определяющей терминологию технологии машиностроения, но общую концептуальную основу и структуру, заложенную в действующих стандартах, изменять нецелесообразно.

Это мнение можно подкрепить следующим:

- не сложились «принципиальные» противоречия в терминологии технологии машиностроения и современным развитием науки и техники в этой области;
- серьезные структурные изменения в терминологии потребуют сложного перехода и вызовут изменение множества других нормативных документов, регламентирующих технологическую подготовку производства (оформление технологических карт, технологических расчетов, нормирования и др.), что потребует серьезных затрат (корректировка технологической документации);
- подготовка инженерно-технического персонала, внесение изменений и разработка учебно-методической литературы для профессиональной подготовки.

Комплексность проблемы внесения изменений в терминологию технологии машиностроения требует согласованного решения с представителями смежных отраслей и очень взвешенного подхода и принятия решений после четкого обоснования принимаемых корректировок.

Рассмотрение вопросов, связанных с терминологией очень сложно рассматривать «в режиме живого обсуждения», так как требует скрупулезного, четко выверенного анализа каждого термина

и определения.

Поэтому, по моему мнению, основным итогом дискуссии должен стать план мероприятий по установлению организационных механизмов постоянного мониторинга развития науки и техники, как в области технологии машиностроения, так и смежных областей, и установления порядка обсуждения предлагаемых изменений и внесения корректировок в случае обоснования необходимости.

5. Доктор технических наук, профессор Ю.М. Ермаков

Поддерживая необходимость уточнения и совершенствования терминов и определений в области технологии машиностроения, предлагаю рекомендовать редакциям издательств по технической литературе издавать популярные статьи технической терминологии, этимологические словари технического и технологического русского языка. Они будут полезны для учащихся средних школ, студентов технических вузов и работникам машиностроительных предприятий.

6. Кандидат технических наук, профессор В.А. Пухальский

Поддерживаю необходимость совершенствовать терминологию в области технологии машиностроения, но это следует осуществлять комплексно, рассматривать терминологические стандарты во взаимосвязи. Целесообразно иметь для этого классификационную основу.

7. Доктор технических наук, профессор Б.М. Базров

Считаю целесообразным провести работу по уточнению системы терминов и определений в технологии машиностроения на базе существующих в настоящее время. Это касается, в частности, определений в области базирования, также в области технологических процессов сборки машин.

8. Доктор технических наук, профессор А.В. Киричек

Поддерживаю необходимость проведения такой работы, так как это позволит на более высоком уровне осуществлять подготовку специалистов в вузах для машиностроения России.

9. Доктор технических наук, профессор Ю.З. Житников

Целесообразность проведения рассматриваемой работы подтверждается тем, что при разработке технологических процессов сборки некоторые понятия в свое время сформулированы применительно к механической обработке, не полностью соответствуют процессам сборки. Требуется их уточнение.

10. Доктор технических наук, профессор М.В. Варганов

Считаю необходимым и целесообразным проведение такой работы. Она актуальна, но требует очень большой осторожности, чтобы не навредить. Целесообразно согласовывать уточнения и определения, ориентируясь на словари русского языка.

11. Доктор технических наук, профессор А.Г. Суслов

Предлагаю обратиться в Росстандарт РФ с предложением по переработке ГОСТов по основным понятиям и определениям в технологии машиностроения.

На основании текста выступлений членов семинара приняты следующие рекомендации научно-методического семинара.

Решение

Технические и технологические термины отражают научно-технический уровень развития государства и служат основой стандартов в соответствующих областях знаний, базой для совершенствования понятий и определений. Технологическая терминология является составной частью разговорного русского языка, развивает и обогащает его. Именно технологии служат инструментом эффективности производства, превращения отходов в доходы, сохранения и улучшения окружающей среды.

Общепринятая и закрепленная в стандартах система терминов и определений является абсолютно необходимой для любой отрасли науки и техники, в первую очередь, как язык изложения и передачи информации, не допускающий разночтений или неправильного понимания.

Ныне существующая система терминов и определений в технологии машиностроения, сложившаяся в своей основе в начале XX столетия, как признается рядом ученых и работников промышленности, нуждается в актуализации. Причина этой необходимости – изменения, произошедшие в предметной области технологии машиностроения. В том числе, появление новых типов технологического оборудования, систем управления, средств автоматизации.

Анализ ряда научных публикаций, а также проведенная работа по изучению экспертных оценок работников промышленности, обсуждение проблемы на данном семинаре позволили признать необходимость актуализации системы терминов и определений.

Исходя из выше изложенного, участники семинара предлагают:

1. Признать необходимой актуализацию системы терминов и определений в технологии машиностроения, в том числе в существующих стандартах Российской Федерации (ГОСТ3.1109-82, ГОСТ14.004-83, ГОСТ21495-76 и др.).

2. Обратиться в Росстандарт Российской Федерации с предложением о переработке Госстандартов по основным понятиям и определениям в технологии машиностроения. Поручить эту работу Ассоциации технологов-машиностроителей.

3. Привлечь к работе по актуализации системы терминов и определений в технологии машиностроения, кроме технологов, ученых смежных областей (автоматизация производства, станкостроение), а также представителей предприятий и организаций машиностроения. Осуществлять совершенствование терминологии в стандартах во взаимосвязи (комплексно).

4. В целях повышения технологической культуры населения рекомендуется издавать популярные статьи по технической терминологии, этимологические словари технического и технологического русского языка. Они особенно будут полезны учащимся средних школ, студентов профессиональных училищ и высших технических учебных заведений, а также работникам машиностроительных предприятий.

5. Опубликовать научную концепцию, по данному вопросу, в одном из ведущих журналов для ознакомления с ней широкой общественности.

6. Разработать и представить на обсуждение проект актуализированной системы терминов и определений в технологии машиностроения, включая предложения по модификации текстов Государственных стандартов.

Председатель Президиума
Ассоциации технологов-машиностроителей
д.т.н., проф. А.Г. Сулов

Председатель семинара
д.т.н., проф. В.Ф. Безъязычный

УДК 621
DOI: 10.12737/22574

Ю.М. Ермаков, д.т.н.
(Московский технологический университет МИРЭА)
E-mail: ti1-mgupi@mail.ru

Происхождение и отмирание технических терминов, совершенствование понятий и определений в технологии машиностроения

Показано развитие технической терминологии, её связь с разговорной лексикой.

Ключевые слова: технический термин; происхождение; отмирание; бытовое слово; употребление.

Origin and extinction of technical terms, improvement of concepts and definitions in engineering technique

The technical terminology reflect level of evolution of science and technique. The dislodging of old terms by means of new words considering the same conception is considered. At the same time take it old terms in the contemporary language root. Dying off terms without replacement is useless latest technique provoked. For instance, disused command apparatus. His functions carry with vast advantage a computer out. Mass appearance of new terms is with conception a new sphere of science, for instance cybernetic and electronic, connected. The appearance of hybrid terms, cooperation and widen techniques and colloquial vocabulary is considered.

Keywords: technical term; origin; extinction; household word; use.

У лингвистов существует выражение, что наиболее прогрессивные слова – это долгоживущие. Термины появляются с новыми знаниями и тем интенсивнее, чем шире новая область. Наглядным примером служит информационно компьютерная терминология, рождённая наукой о кибернетике с 1948 г. и развитием электроники за последние полвека.

Технические термины консервативны, как и сама наука механика, насчитывающая со времён Архимеда 2300 лет. Новые термины появляются с изобретениями деталей машин и механизмов. Деталей за последние двести лет придумано немного: реактивная турбина и пропеллер в XIX веке; гибкий вал, гибкое зубчатое колесо и упругий угловой элемент в XX веке; резьбовой тор и синусоидальный винт в XXI веке. Новых механизмов из комбинаций деталей машин на полтора порядка больше: волновая зубчатая передача, круговинтовая пара (рис. 1), свыше десятка упругодеформируемых механизмов (рис. 2).



Рис. 1. Круговинтовая пара. Варианты форм

Особую группу составляют транспортные и бытовые технические термины, получившие распространение в первой половине XX века: автомобиль, самолёт, грузовик, термос и сотни других понятий вплоть до холодильника, шофёра и элеватора.

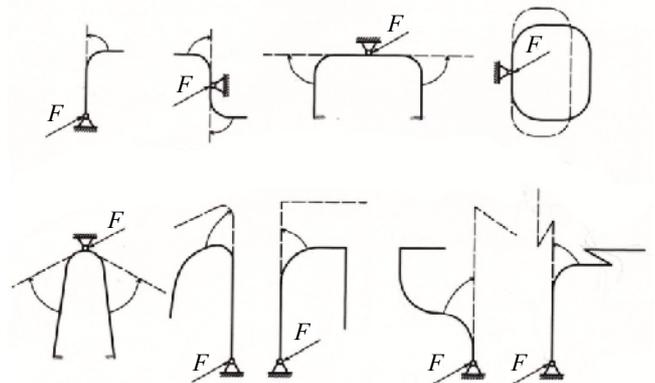


Рис. 2. Схемы упругодеформируемых механизмов Г, S, П, O, V, Л, Z-образных форм (F – деформирующая сила)

Во второй половине XX века к информационному взрыву терминов добавляются производные понятия: мехатроника – механика и электроника, машино- и механостаз – состояние механизмов; герономехалогия – наука о старении (греч. *heron* – старец) механизмов; жизненный цикл (изделия, машины); синергетика (греч. *syn* – вместе, *ergos* – работа) – самоорганизация систем с наилучшим результатом.

Отмирание старых технических терминов происходит при их замене новыми словами того же значения: живая сила – динамическая, мятый пар – отработанный, люфт – зазор. Некоторые термины в связи с упрощением техники, особенно механизмов управления, исчезают полностью. Среди них командоаппарат, коробка Нортон, передача меандр, гитара

сменных колёс, перебор, накидная шестерня, трензель.

Приведем образец технической лексики первой половины XIX века. «Верхний лежащий вал в описываемых мною мельницах – пишет Ф. Владимиров-Смородинов – обыкновенно вращался на шее, по окружности коей вбиты были стальные или чугунные поддоски, которые и обращались на чугунном, стальном или каменном подголовье (рис. 3). Неудобства от сего происходили следующие: во-первых, от тяжести вала, кулачкового колеса и крыльев, насаженных на ополь, происходило в шее валовой величайшее трение, препятствующее весьма много скорому и легкому ходу всей машины. Во-вторых, никогда мазь на подголовье не могла хорошо держаться, а от трения стекала по стене мельничного амбара. В-третьих, поддоски разгорячались, вал в шее перегорал и ломался».

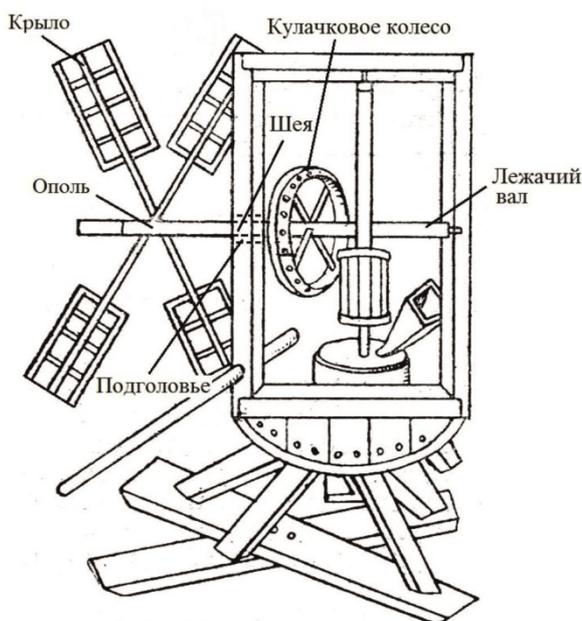


Рис. 3. Механизм ветряной мельницы XVII в.

Остановимся на этом отрывке из сочинения, приведенного автора: «Об усовершенствовании ветряных мельниц, касательно легчайшего их хода» (СПб., 1824 г). Выберем из него несколько старинных технических терминов. В порядке упоминания: лежащий вал, шея, вбиты, стальные или чугунные поддоски, подголовье, ополь. Сравним их с современными: горизонтальный вал, шейка, запрессованы, вкладыши, подшипник скольжения, втулка.

А как забавны технологические признаки в выражениях: «происходило в шее валовой ве-

личайшее трение, поддоски разгорячались, вал в шее перегорал и ломался». Живой разговорный язык в технике.

Бытовые слова, применявшиеся для обозначения технических и технологических понятий, заменяются специальными терминами. Дрызга становится металлической стружкой (XVIII век), щепка – стружкой большого сечения (начало XIX века). Тогда же подушка стала называться подшипником, а зубчатая полоса – зубчатой рейкой.

В XX веке самоточку называют токарным станком, питание – подачей, самопитание – механической подачей, а затем просто подачей. Но питание остаётся как процесс поступления жидкого металла в отливку; питатель как элемент литейной системы и как грузозачное устройство технологического оборудования. Остаются наждак и камень. Камень как круг (!) наждачный – тот же наждак, ещё – ползун кулисы, но неподвижный подшипник скольжения оси колёсика, триба в часовом механизме.

Долгоживущая доска служит и основанием навесного орудия, например, многолемешного плуга, и держателем инструмента: волоки – волочилная доска, резца строгального – откидная доска, и местом расположения приборов – приборная доска. Есть и трубная доска – диск с отверстиями для крепления труб водогрейных котлов, резонансная доска – заготовка из особой древесины для музыкальных инструментов.

Вышли из употребления винтовая доска – закалённая пластина с несколькими резьбовыми отверстиями для нарезания различных резьб, стиральная доска для ручной стирки. Уходят в запас чертёжная доска (кульман) и классная доска. Но снова вернулся термин подушка в значении опора с определением *воздушная* для транспортных средств, *аэростатическая* для направляющих и шпинделей, *электромагнитная* для линейных двигателей.

Редактор компьютера подчёркивает специальные, по его мнению, сомнительные слова: установ (за один установ); фасочный и канавочный (резцы), проворот (поворот режущей вставки), но к хомуту (соединение вставки хомутом с державкой) претензий не имеет. Выходит, хомут – прогрессивное слово. Специальные слова ждут своего часа в разговорной речи, например, канавочный рельеф, резьбовой профиль, фасочный край.

Техническая терминология служит надёжной опорой разговорного языка. Многие технические термины вошли в бытовое употреб-

ление. Среди них – аппарат, звено, машина, механизм, опора, потенциал, рычаг и другие слова в выражениях: исполнительный аппарат, опорно-двигательный аппарат, передаточное звено, машина голосования, механизм реализации, творческий потенциал, рычаг воздействия, технология творчества. Многообразие языка отражает глубину культуры, науки, истории народа.

В технологии машиностроения последние годы появляются все новые термины: высокие технологии, комбинированная обработка, научно-технические технологии, аддитивные технологии, CALS-технологии и другие, которые также требуют своей нормализации. Наряду с терминологией происходит совершенствование и определений в технологии машиностроения. Так, еще 30 лет назад под технологическим переходом понималось: «часть технологической операции, выполняемая при неизменных обрабатываемой поверхности, инструменте и режимах резания». В настоящее время под технологическим переходом понимается: «часть технологической операции, характеризующаяся неизменностью обрабатываемой поверхности и инструмента».

Появление станков с ЧПУ и обрабатывающих центров неукоснительно требуют дополнительного внесения технологических определений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Виноградов, В.В. История слов / отв. ред. Н.Ю. Шведова. – М.: РАН. Отделение литературы и языка, 1999. – 1138 с.

2. Ермаков, Ю.М. Технические термины бытового происхождения. Словарь. – М.: Изд. дом «Техника – молодежи», 2008. – 184 с.

3. Загорский, Ф.Н. Очерки по истории металлорежущих станков до середины XIX века. – М.–Л.: АН СССР, 1960. – 282 с.

4. Машиностроение. Терминологический словарь под общ. ред. М.К. Ускова, Э.Ф. Богданова. – М.: Машиностроение, 1995. – 592 с.

5. Ожегов, С.Н. Словарь русского языка: 70000 слов / под ред. Н.Ю. Шведовой. – 23-е изд., испр. – М.: Рус. яз., 1991. – 917 с.

REFERENCES

1. Vinogradov, V.V. *History of Words/* executive editor N.Yu. Shvedov. – M.: RAS. Section of Literature and Language, 1999. – pp. 1138.

2. Yermakov, Yu.M. *Technical Terms of Household Origin. Dictionary.* – M.: Publishing House “Engineering – Youth”, 2008. – 184.

3. Zagorsky, F.N. *Essays on Machine-tools History up to XIX Century.* – M.–L.: AS of the USSR, 1960. – pp. 282.

4. Mechanical Engineering. *Terminology Dictionary* under the general editorship of M.K. Uskov, E.F. Bogdanov. – M.: Mechanical Engineering, 1995. – pp. 592.

5. Ozhegov, S.N. *Russian Language Dictionary: 70000 entries /* under the editorship of N.Yu. Shvedova. – 23-d Ed., corrected – M.: Russian Language, 1991. – pp. 917.

Рецензент д.т.н. А.Г. Суслов

УДК 621.91.01

DOI: 10.12737/22575

Б.М. Базров, д.т.н.

(ФГБУН ИМАШ им. Благонравова, Москва)

E-mail: modul_lab@mail.ru

К вопросу развития теории базирования в машиностроении

Рассмотрены основные положения теории базирования, отмечены ее недостатки. Предложены дополнительные понятия: теоретическая, реальная схемы базирования, трехопорная база, схема расположения опорных точек на базе и изменения формулировок некоторых понятий.

Ключевые слова: базирование; база; комплект баз; скрытая база; схема базирования.

To problem of basing theory development in mechanical engineering

Basic regulations of basing theory are considered, its drawbacks are emphasized. The additional concepts are offered: theoretical, actual schemes of basing, a three-point basis, a scheme of the location of reference points on the basis and changes in statements of concepts.

Keywords: basing; base; set of bases; hidden base; scheme of basing.

Базирование – это придание заготовке или изделию требуемого положения относительно заданной системы координат [1].

Результаты базирования указанных предметов оказывают большое влияние на работоспособность, долговечность, надежность машины, механизма, эффективность технологических процессов.

Фундаментальным трудом в теории базирования является работа проф. Б.С. Балакшина [2], на основе которой разработан ГОСТ 21495-76 «Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения» [1].

Практика применения положений теории базирования показала ряд ее недостатков, вызывающих трудности при проектировании машин и технологии их изготовления. Это говорит о необходимости ее дальнейшего развития.

В основе теории базирования лежит известное утверждение о том, что положение абсолютно твердого тела в пространстве определяется координатами трех его точек, не лежащих на одной прямой (рис. 1).

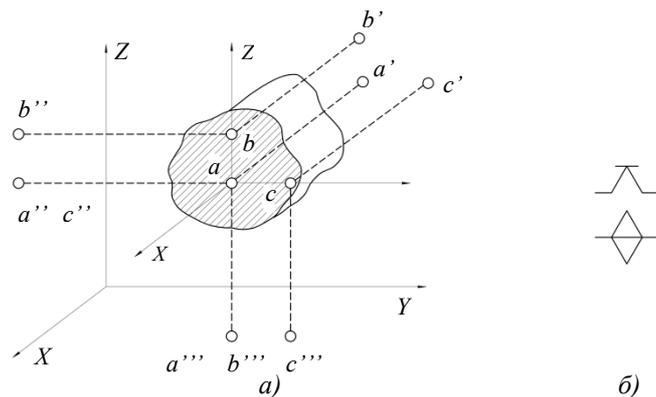


Рис. 1. Положение абсолютно твердого тела в прямоугольной системе координат XYZ:

a – определение положения тела в пространстве;
b – условное обозначение опорной точки

Положение каждой точки определяется тремя линейными координатами.

В итоге имеет место девять координат, определяющих тело в пространстве.

С другой стороны, чтобы тело было неподвижным, оно должно быть лишено шести степеней свободы: трех перемещений вдоль координатных осей и трех поворотов вокруг них.

Следует различать два понятия: связь и степень свободы, где под связью следует понимать координату точки, определяющую ее положение в координатной системе. Отсюда одна и та же связь может лишать предмет или перемещения по координате, или поворота вокруг координатной оси.

Как следует из рис.1, *a* точка «*a*» лишает тело трех перемещений по координатным осям, точка «*b*» лишает тело двух поворотов и точка «*c*» – одного поворота.

Таким образом, одна координата точки «*b*» и две координаты точки «*c*» являются дублирующими (избыточными) в лишении тела всех степеней свободы. Отсюда возникло правило шести точек, согласно которому для базирования предмета достаточно шести опорных точек.

Исходя из правила шести точек, схема базирования предмета представляет собой их распределение по трем координатным плоскостям по схеме 3–2–1. Назовем это распределение точек по координатным плоскостям теоретической схемой базирования.

Следовательно, для лишения предмета всех степеней свободы необходимо иметь три базы, получившие названия установочной (У) – лишаящей предмет трех степеней свободы (одного перемещения и двух поворотов), направляющей (Н), лишаящей предмет двух степеней свободы (одного перемещения и одного поворота) и опорной (О), лишаящей предмет одной степени свободы, в данном случае – перемещения. Совокупность этих баз получила название комплекта баз.

Проблемы с базированием предметов, возникающие на практике, можно объяснить отсутствием ряда понятий, правил базирования, неточностью формулировок некоторых известных понятий и принятого допущения, когда реальный предмет, способный деформи-

роваться, принимается за абсолютно твердое тело.

Указанное допущение учитывается за счет введения подводимых опорных точек, но при этом не приводится правило определения их количества и места расположения.

К отсутствующим понятиям и их определений, правилам базирования и недостаткам формулировок известных понятий относятся следующие:

- не показана разница между точкой тела (предмета) и «опорной точкой»;
- не показано, какой степени свободы (перемещения или поворота) лишает предмет опорная точка;
- отсутствует правило последовательности этапов базирования предмета по базам и правило расположения опорных точек на базах;
- не дано обоснование разнообразия баз и комплектов баз.

Рассмотрим предложения по устранению указанных недостатков.

В теории базирования под опорной точкой понимается «точка, символизирующая одну из связей заготовки или изделия с выбранной системой координат» [1].

Такое понятие не объясняет в чем отличие опорной точки от точки тела (предмета), какой должна быть конструкция опорной точки, что понимать под связью, какой степени свободы она лишает базиремый предмет.

Ответы на эти вопросы позволят снять многие из выше перечисленных недостатков теории базирования.

Теоретически опорная точка – это точка пересечения одной координаты точки тела (см. рис.1, а) с координатной плоскостью. Таким образом, она, в отличие от точки тела, лишает предмет только одной степени свободы. Отсюда ее условное обозначение должно быть таким, как показано на рис.1, б.

Что касается ответа на вопрос, какой степени свободы лишает предмет опорная точка – перемещения или поворота, то на него можно получить ответ только непосредственно при базировании предмета.

Например, при базировании предмета направляющей базой, образуемой двумя опорными точками 1 и 2, возможны два варианта лишения предмета двух степеней свободы.

Первый вариант – опорная точка 1 лишает предмет перемещения, а опорная точка 2 – поворота. Второй вариант – опорная точка 1 лишает предмет поворота, а опорная точка 2 – перемещения.

Роль 1 и 2 точек зависит от того какая из

них первая участвует в базировании, т.к. предмет сначала лишается линейного перемещения, а потом поворота.

Базирование предмета осуществляется с помощью баз, где под базой понимается «поверхность или выполняющая ту же функцию сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащая заготовке или изделию и используемая для базирования» [1].

Приведенное в теории базирования разнообразие баз ограничено пятью базами: установочной (У), направляющей (Н), опорной (О), двойной направляющей (ДН) и двойной опорной (ДО), отличающимися количеством опорных точек и лишением с их помощью предмета соответствующих степеней свободы.

Каких степеней свободы лишают У, Н и О было показано ранее.

В теории базирования нет теоретического обоснования появления баз ДН и ДО. Указывается лишь то, что они применяются при базировании предмета типа тела вращения (вал, диск и т.п.).

Объяснить появление этих баз можно тем, что они предназначены для базирования предмета скрытыми базами. В первом случае в качестве скрытой базы выступает ось симметрии, являющаяся осью поверхности вращения, а во втором – центр симметрии на плоскости, являющийся центром симметрии окружности.

Согласно [1] двойная направляющая база – «база, используемая для наложения на заготовку или изделие связей, лишающих ее четырех степеней свободы – перемещений вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей» [1].

Двойная опорная база – «база, используемая для наложения на заготовку или изделие связей, лишающих их двух степеней свободы – перемещений вдоль двух координатных осей» [1].

В этих формулировках не указывается, что эти базы могут применяться только в том случае, если они выполняют роль скрытой базы, под которой понимается «база в виде воображаемой плоскости, оси или точки» [1].

Отмеченные плоскость, ось и точка являются элементами симметрии, к которым следует добавить вместо «точки» точку симметрии на линии, центр симметрии на плоскости и центр симметрии в пространстве, а так же добавить линию симметрии. Их примеры приведены на рис. 2.

Базирование предмета точкой симметрии на линии лишает его одной степени свободы и

тогда она выступает в роли опорной базы.

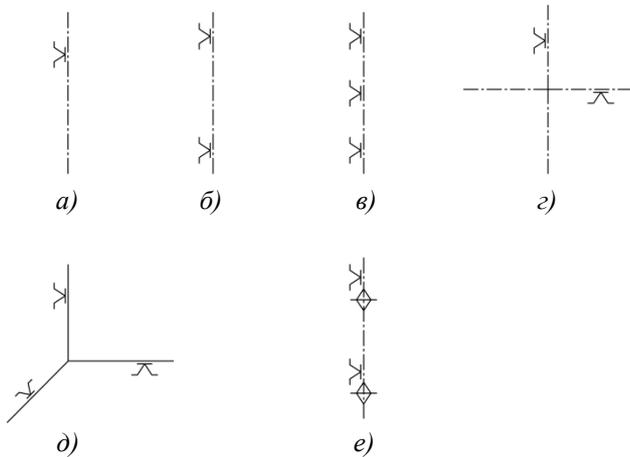


Рис. 2. Скрытые базы:

a – точка симметрии на линии; *b* – линия симметрии; *в* – плоскость симметрии; *г* – центр симметрии в плоскости; *д* – центр симметрии в пространстве; *е* – ось симметрии

Базирование предмета линией симметрии лишает его двух степеней свободы – перемещения и поворота и тогда она выступает в роли направляющей базы.

Базирование предмета центром симметрии на плоскости лишает предмет двух степеней свободы по двум координатным осям и тогда она выступает в роли двойной опорной базы.

Базирование предмета плоскостью симметрии лишает его трех степеней свободы – одного перемещения и двух поворотов и тогда она выступает в роли установочной базы.

Базирование предмета осью симметрии лишает его четырех степеней свободы – двух перемещений и двух поворотов и тогда она выступает в роли двойной направляющей базы.

Что касается базирования предмета центром симметрии в пространстве, то эта база лишает предмет трех степеней свободы – трех перемещений, по трем координатным осям, но такая база отсутствует. Назовем эту базу тройной опорной (ТО).

Например, при базировании шара в полем конусе шар лишается трех перемещений по трем координатным осям.

В итоге должно быть шесть баз: У, Н, О, ДН, ДО и ТО. Без учета новой базы (ТО) возможно четыре варианта комплекта баз: У–Н–О; У–ДО–О; ДН – О–О; ДН–ДО [3].

С введением базы ТО следует добавить еще два комплекта баз: ТО–ДО – О; ТО–О–О–О. В каждом из них опорная точка О лишает предмет поворота вокруг соответствующей коор-

динатной оси.

Каждый из шести комплектов баз реализует соответствующую материализованную схему базирования, назовем такую схему базирования реальной со следующим распределением опорных точек.

$$\begin{array}{c}
 \text{У – Н – О;} \\
 3 - 2 - 1
 \end{array}
 \left|
 \begin{array}{c}
 \text{У – ДО – О;} \\
 3 - 2 - 1
 \end{array}
 \right|
 \begin{array}{c}
 \text{ДН – О – О;} \\
 4 - 1 - 1
 \end{array}
 \left|
 \begin{array}{c}
 \text{ДН – ДО.} \\
 4 - 2
 \end{array}
 \right.$$

$$\begin{array}{c}
 \text{ТО – О – О – О;} \\
 3 - 1 - 1 - 1
 \end{array}
 \left|
 \begin{array}{c}
 \text{ТО – ДО – О.} \\
 3 - 2 - 1
 \end{array}
 \right.$$

Однако распределение опорных точек по координатным плоскостям у каждого комплекта баз происходит одинаково в соответствии с теоретической схемой базирования (3–2–1).

Например, как показано на рис. 3, при базировании предмета комплектом баз ДН–ДО, где на базе ДН располагаются четыре опорные точки (1, 2, 3, 4), а на базе ДО – две опорные точки (5, 6), их распределение по координатным плоскостям происходит по схеме 3–2–1.

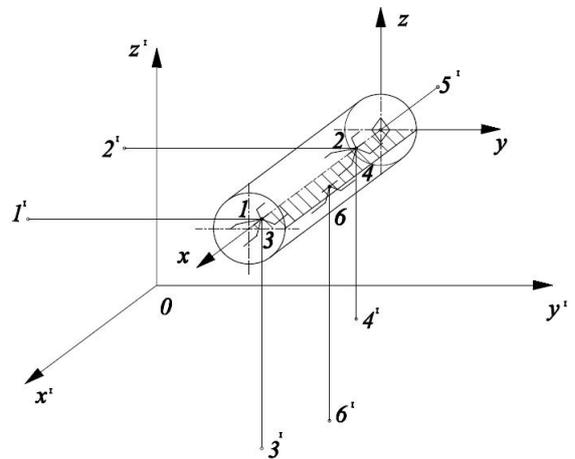


Рис. 3. Схемы распределения опорных точек:

реальная (точки 1, 2, 3, 4, 5, 6), теоретическая (точки 1', 2', 3', 4', 5', 6')

В связи с этим следует ввести понятие «реальная схема базирования», под которой понимается схема распределения опорных точек по базам.

Остановимся на правилах базирования предмета.

Если базирование предмета происходит под действием собственного веса, то оно должно начинаться с установки предмета на базу, обеспечивающую его устойчивое положение под действием собственного веса.

Таковыми базами в комплектах баз $У - Н - О$ и $У - ДО - О$ является установочная база; в комплектах баз $ДН - О - О$, $ДН - ДО - О$ – двойная направляющая база и в комплектах баз $ТО - О - О - О$, $ТО - ДО - О - О$ – тройная опорная база.

Таким образом, базирование предмета должно начинаться с одной из перечисленных баз, а далее последовательность базирования по другим базам может быть любой.

На качество базирования влияет расположение опорных точек на таких базах как направляющая, двойная направляющая и установочная.

При базировании предмета направляющей или двойной направляющей базами опорные точки следует располагать на максимальном удалении друг от друга. Это снижает погрешность базирования.

При базировании предмета установочной базой в зависимости от расположения на плоскости трех опорных точек возможно возникновение неопределенности базирования.

На рис. 4 показаны два варианта расположения опорных точек 1, 2, 3 на установочной базе, в качестве которой выступает координатная плоскость XOY .

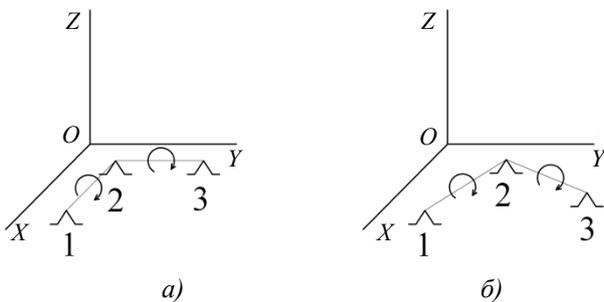


Рис. 4. Схема расположения опорных точек на установочной базе:

а – первый вариант; б – второй вариант

Если сначала входит в контакт с предметом опорная точка 1, то она лишает предмет возможности перемещения по оси OZ . Тогда в первом варианте после входа в контакт опорной точки 2 предмет лишается возможного поворота линии, соединяющей точки 1 и 2 параллельно оси OY , а после входа в контакт опорной точки 3 – поворота вокруг линии, соединяющей точки 1 и 3 параллельно оси OX .

При втором варианте расположения опорных точек 1, 2, 3 после входа в контакт с предметом опорной точки 2, предмет тоже лишается возможности одного поворота. Однако в этом случае поворот предмета проис-

ходит вокруг линии расположения под углом к осям OX и OY .

Таким образом, вектор поворота имеет проекции на оси OX и OY .

Аналогичная картина имеет место при входе в контакт с предметом и опорной точкой 3.

В результате поворот предмета вокруг осей OX и OY будет определяться суммой проекций векторов поворота от точек 2 и 3 вокруг соответствующих координатных осей.

В итоге возникают трудности в определении погрешности базирования.

Эта неопределенность базирования усиливается в реальных условиях, когда поверхности баз имеют погрешности геометрической формы.

Характерной особенностью базирования предмета элементом симметрии (скрытая база) является отсутствие опорной точки в материальном виде.

Базирование предмета по скрытым базам осуществляется с помощью самоцентрирующих устройств типа самоцентрирующих тисков, трехкулачкового патрона. Конструкции губок самоцентрирующих тисков, контактирующие с поверхностями предмета, зависят от элемента симметрии.

Если базирование осуществляется по точке, центру симметрии на линии, плоскости, линии и оси симметрии плоскостными при базировании плоскостью симметрии, то губки должны быть узкими. При базировании центром симметрии на плоскости и осью симметрии – губки должны быть в виде призм.

На основании изложенного предлагается внести следующие коррективы в теорию базирования:

1. Опорную точку обозначить в виде галочки с чертой над вершиной.

2. Ввести понятия теоретической, реальной схемы базирования и схемы расположения опорных точек. *Теоретическая схема базирования* – схема распределения опорных точек по координатным плоскостям прямоугольной системы координат. *Реальная схема базирования* – схема распределения опорных точек по базам комплекта баз, *схема расположения опорных точек* – схема расположения опорных точек на базах.

3. Дополнить состав баз трехопорной базой, где трехопорная база – база, используемая для наложения на предмет связей, лишающих его трех степеней свободы: перемещения вдоль трех координатных осей.

4. Внести изменения в формулировку понятий «базирование», «база», «скрытая база» в

следующих редакциях:

Базирование – придание предмету требуемого положения относительно заданной системы координат.

База – поверхность или выполняющее ту же функцию сочетание поверхностей или элементы симметрии (точка на линии, центр на плоскости, центр в пространстве, линия, плоскость, ось) принадлежащие предмету и используемые для базирования.

Скрытая база – элемент симметрии: точка на линии, центр на плоскости, центр в пространстве, линия, плоскость, ось.

5. Включить в правило базирования – «базирование предмета должно начинаться с базы, обеспечивающей устойчивое положение предмета под действием собственного веса».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 21495 – 76. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 11с.

2. Балакшин, Б.С. Теория и практика технологии машиностроения. В 2-х т. Т. 2. – М.: Машиностроение, 1982. 367 с.

3. Базров, Б.М. Расчет точности машин на ЭВМ. – М.: Машиностроение, Ленинградское отделение. 1985. – 496 с.

4. Базров, Б.М. Основы технологии машиностроения учебник для ВУЗов. 2-е изд. – М.: Машиностроение, 2007. – 736 с.

REFERENCES

1. RSS 21495 – 76. *Basing and Bases in Mechanical Engineering. Terms and Statements.* – M.: Publishing House of Standards, 1981. – pp. 11.

2. Balakshin, B.S. *Theory and Practice of Mechanical Engineering.* In 2 Vol. т. Vol. 2. – M.: Mechanical Engineering, 1982. pp. 367.

3. Bazrov, B.M. *Machine Accuracy Computation by Computers.* – M.: Mechanical Engineering, Leningrad Section. 1985. – pp. 496.

4. Bazrov, B.M. *Fundamentals of Engineering Technique: textbook for colleges.* 2-d Ed. – M.: Mechanical Engineering, 2007. – pp. 736.

Рецензент д.т.н. В.Г. Митрофанов

УДК 621.923

DOI: 10.12737/22576

В.А. Полетаев, д.т.н.,
(ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный
технический университет имени П.А. Соловьева»
Ярославская область, 152934, г. Рыбинск, ул. Пушкина, д. 53)

Е.В. Цветков, к.т.н.,
(НПО «Сатурн»
Ярославская область, 152903, г. Рыбинск, пр. Ленина, д. 163)
E-mail: poletaev@rsatu.ru, egor.tsvetkov@npo-saturn.rum

Сравнительный анализ автоматизированного и неавтоматизированного производства лопаток турбин

Представлен производственный опыт по созданию полностью автоматизированного участка изготовления лопаток турбин ГТД. Описаны преимущества автоматизированного производства, принципы построения, приведены примеры конкретной реализации автоматизированных производственных мощностей.

Ключевые слова: лопатки турбины; автоматизированные технологии; принципы автоматизации; эффективность автоматизированного производства.

V.A. Poletaev, D.Eng.,
(FSBEI HE "Soloviyov State Aircraft Technical University of Rybinsk",
53, Pushkin Str, Rybinsk, Yaroslavl region 152934),

E.V. Tsvetkov, Can.Eng.
(Scientific Production Association "Saturn", 163, Lenin Avenue, Rybinsk, Yaroslavl region, 152903)

Comparative analysis of automated and non-automated production of turbine blades

Existing production of turbine blades is arranged on the principle "one machine – one part – one product". This concept does not meet the requirements of today to ensure the required "price – quality" ratio of the product. The only solution to improve the efficient production to process turbine blades on the base of multifunctional machining centers allows increasing efficiency of turbine blade manufacture, and provides advantages to manufacturers of GTE on the gas turbine markets. Automated production of the turbine blades developed by NPO "Saturn" has greatly enhanced the quality of GTE blade wheel manufacture and reduced the cost of their production.

Keywords: turbine blades; automated techniques; automation principles; automated production efficiency.

Автоматизированные технологические процессы комплексной обработки наружного контура лопаток ГТД методами высокоскоростного глубинного шлифования являются наиболее современными процессами изготовления деталей газовых турбин для авиационного, аэрокосмического и энергетического машиностроения [1, 2].

Практический опыт их использования на НПО «Сатурн», а также опыт передовых компаний мира, а именно: Rolls Roys, GE, Snecma, MTU, Fiat, Mitsubishi Hevi, свидетельствует, что только комплексные, полностью автоматизированные технологические процессы обеспечивают получение лопаток ГТД с задаваемыми при проектировании соотношениями цена – качество. Автоматизированные технологические процессы, осуществляющие комплексную (замкнутую) обработку реализуются в технологическом потоке (линии) производства деталей, имеющих одинаковые конструктивные признаки и близкие типоразмеры. Технологические линии, реализующие ту или иную групповую технологию, объединены в центры компетенций, организованные по предметному принципу.

НПО «Сатурн» является первым в РФ предприятием, широко использующим технологии автоматизированной комплексной обработки лопаток турбин. На предприятии создано специальное структурное подразделение – Центр компетенций по автоматизированной обработке лопаток турбин, в котором сосредоточено автоматизированное производство по изготовлению лопаток турбин для ГТД новых поколений, в том числе Sam-146, MC-21 и др. В рамках производства реализуется более пятидесяти комплексных, полностью автоматизированных процессов изготовления лопаток турбин.

Производственные мощности, реализующие автоматизированные технологические процессы созданы в дополнение к существующим мощностям производства лопаток турбин, организованных по предметному (позловому) принципу. Принятие решения по созданию автоматизированного производства, объединяющего несколько технологических потоков, организованных по технологическому принципу, в единый центр компетенций по производству лопаток турбин, осуществлялось на основе анализа существующего поточного производства.

Существующие мощности сложились на предыдущем этапе развития НПО «Сатурн» в период освоения и становления производства ГТД третьего поколения, а именно: газотурбинных двигателей ДЗКУ/КП.

Данное производство содержит несколько технологических потоков, содержащих металлорежущее оборудование, объединенное в поток на основе типовой (групповой) технологии, в том числе групповой технологии обработки рабочей (роторной) лопатки турбины и групповой технологии обработки сопловой (статорной) лопатки турбины.

Внутри каждого потока находятся участки с несколькими параллельными линиями однотипного оборудования, отличающегося друг от друга типоразмерами, т.е. предназначенного для обработки близких по конструкции деталей, но существенно разных типоразмеров.

В этих потоках используется технологическое оборудование с различной степенью автоматизации: от оборудования реализующего высокопроизводительные, автоматизированные процессы обработки до оборудования универсального, частично или полностью неавтоматизированного, выполняющего процессы обработки в ручном режиме. Такой подход

к построению технологического потока связан с содержанием технологической операции, т.е. ответственностью поверхностей детали, которые формируются на той или иной операции.

Как правило, автоматизированные процессы, осуществляемые на станках с ЧПУ, выполняются при обработке поверхностей, по которым деталь устанавливается в лопаточное колесо, т.е. при обработке хвостовиков. Все остальные поверхности, в том числе поверхности технологических баз выполняются на универсальных шлифовальных станках в ручном режиме. Такая организация производства соответствует принципу – «один станок – одна деталь – одно наименование двигателя».

Необходимость соблюдения данного принципа продиктовано реалиями существующего технологического оборудования, где процесс переналадки в сотни раз длиннее цикла механической обработки партии деталей. Для обеспечения требуемой точности эти станки оснащаются специальными наладками, т.е. специальными приспособлениями, предназначенными для конкретного наименования детали. В этом состоянии они пребывают длительное время, т.е. не перестраиваются под другое наименование.

В результате в потоке достаточно много простого и недорогого технологического оборудования, которое имеет малый коэффициент загрузки, занимает значительные производственные площади, плохо обслуживается. Производственные участки загромождены полуфабрикатами деталей, многочисленными станочными приспособлениями и контрольной оснасткой. Маршрут движения полуфабриката лопатки по такому технологическому потоку достаточно извилист, время «пролёживаемости» деталей на каждой технологической операции более чем значительно.

Существующую структуру производства лопаток условно можно классифицировать как «технологическую деревню», рис. 1.

Представленная условная структура производства лопаток иллюстрирует движение полуфабрикатов лопаток турбин в технологическом потоке. Детали перемещаются не только по вертикали, но и по горизонтали, попадают в другие технологические линии для выполнения отдельных, как правило, очень незначительных технологических операций, пролеживают там достаточно большое время, получают повреждения при транспортировке и т.д.

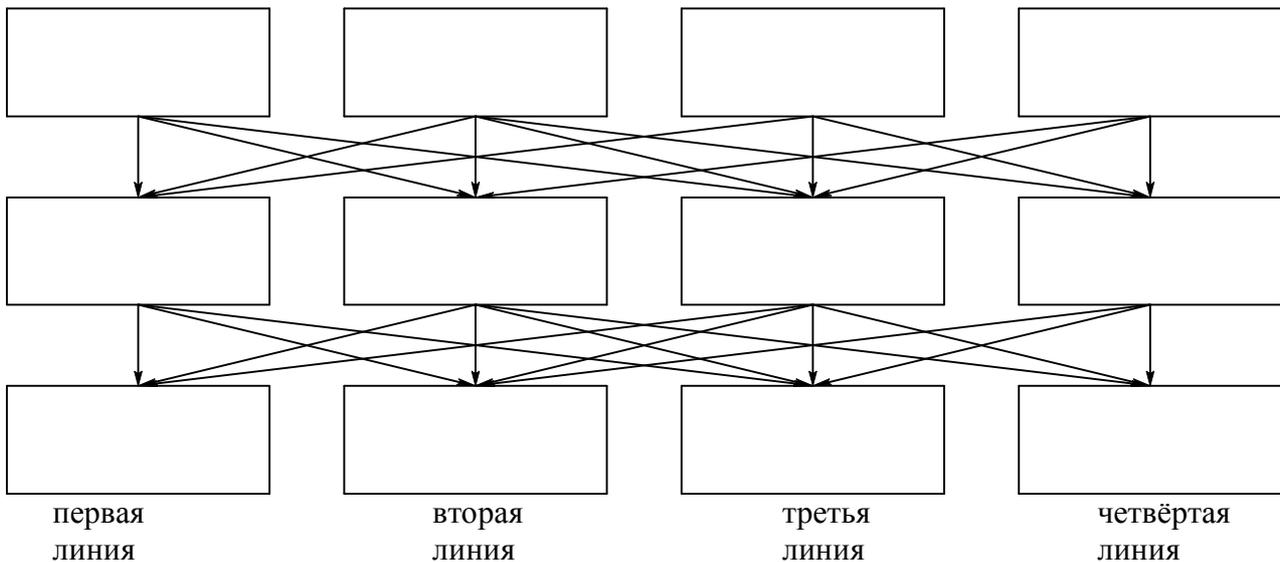


Рис. 1. Структура неавтоматизированного производства лопаток турбин

Но самым главным недостатком такого подхода является низкая геометрическая точность лопаток ГТД, обусловленная отклонениями взаимного расположения различных поверхностей лопаток турбин относительно друг друга. В результате этого при сборке лопаточных колес турбин приходится осуществлять постоянную доработку, заниматься подбором лопаток в колесо, осуществлять селективную сборку колес ротора и статора.

Целью этих доработок является обеспечение требуемых радиальных и осевых зазоров между ротором и статором, устранение торцевых и радиальных биений лопаточных колес, т.е. осуществлять целый комплекс технологических мероприятий для достижения требуемых характеристик ГТД. Все это значительно повышает себестоимость изготовления, делает изделие, произведенное в рамках данного производства неконкурентоспособными на рынке ГТД.

Автоматизированные технологические процессы лишены этих недостатков, позволяют вести комплексную обработку всех поверхностей наружного контура лопаток турбины. Данные технологии позволяют вести обработку практически всех поверхностей детали, составляющих ее наружный контур в одной системе координат, что исключает наличие отклонений взаимного расположения поверхностей, составляющих наружный контур детали.

Это позволяет при сборке лопаточных колес исключить их доработку в сборе, т.е. серьезно сократить затраты производства. При этом технологические потоки, каждый из которых реализует ту или иную групповую технологию, состоят исключительно из автоматизированного оборудования с ЧПУ, что позволяет весьма оперативно осуществлять переналадку оборудования. За счет этого организуется вертикальное перемещение полуфабрикатов детали в потоке, исключается их проникновение в параллельные технологические линии.

Структура автоматизированного производства приведена на рис. 2.

Важность выстраивания производственных линий в соответствии с групповым технологи-

ческим процессом сложно переоценить. Решение этой задачи естественным образом позволяет следующее: сократить количество рабочих мест; сократить производственный цикл обработки; высвободить производственные площади; повысить качество продукции; сузить компетенции персонала на конкретном технологическом переделе и т.д.

Наряду с преимуществами автоматизированного технологического производства необходимо отметить высокую стоимость технологического оборудования, используемого в технологических потоках реализации тех или иных групповых технологий, а также высокую стоимость обслуживания автоматизированных процессов.

Требуется оценка эффективности столь различных технологических подходов к организации производства лопаток ГТД. В связи с этим на НПО «Сатурн» при организации центра компетенций изготовления лопаток ГТД был проведен конкретный экономический расчет эффективности создаваемого производства. Расчет производился исходя из номенклатуры и объемов производства лопаток, количества внедренных автоматизированных групповых технологий, затрат по освоению производства.

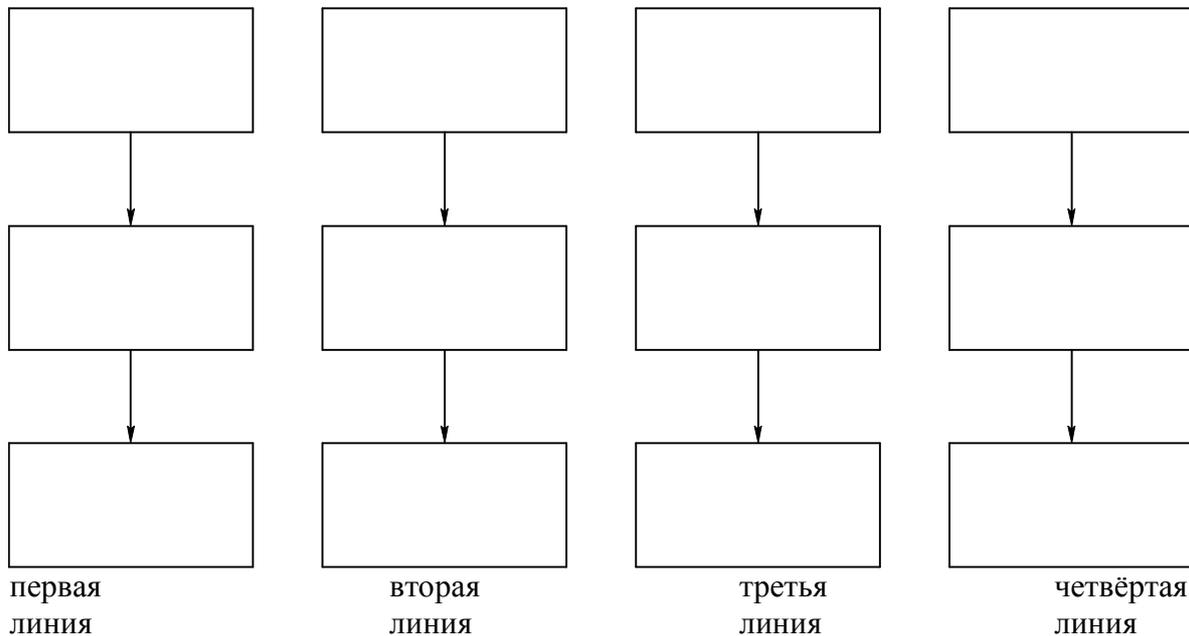


Рис. 2. Структура автоматизированного технологического потока

Условные сравнительные характеристики автоматизированной технологии комплексной обработки и существующих неавтоматизированных технологических процессов обработки наружного контура деталей ГТД приведены в табл. 1.

Сопоставление приведенных в таблице по-

казателей, определяющих затраты на осуществление сравниваемых технологических процессов, показывает неоспоримое преимущество автоматизированных технологических процессов комплексной обработки наружного контура деталей ГТД методами скоростного и глубинного шлифования.

Сравнительные характеристики автоматизированной и поточной технологий обработки лопаток турбин

№ п/п	Наименование показателя	Полностью автоматизированные технологии комплексной обработки	Неавтоматизированные технологические процессы
1	Количество операций в технологическом процессе	2...4	10...15
2	Количество переходов, выполняемых в каждой операции	4...8	1...2
3	Количество единиц шлифовального оборудования, используемого в реализации процесса	1...2	10...15
4	Количество рабочих мест основных производственных рабочих, участвующих в технологическом процессе (в условиях 2-х сменной работы)	2...4	15...20
5	Количество технологической рабочей оснастки, используемое для изготовления одного наименования лопаток	2...4	15...20
6	Количество контрольной оснастки, используемое для изготовления одного наименования лопаток	4...6	15...20
7	Способы обработки, реализуемые в технологическом процессе	Высокоскоростное шлифование кругами из СТМ; глубинное шлифование	Традиционное маятниковое шлифование и отчасти глубинное
8	Средняя установленная мощность технологического оборудования, задействованная при обработке детали одного наименования, кВт	50...60	200...300
9	Производственные площади, задействованные в технологическом процессе, м ²	60...120	300...500
10	Средняя трудоемкость изготовления однотипных деталей ГТД, н/ч	0,5...1,0	8...12
11	Средняя стоимость одной единицы технологического оборудования для автоматизированной обработки лопаток турбин, млн. руб.	20...30	2,5...3
12	Стоимость приведенного станко/часа, руб.	1 500	3 000

Данные технологии по средствам своей реализации, технологическому обеспечению, количеству и качеству персонала, задействованному в производстве, кардинально отличаются друг от друга. Поэтому на НПО «Сатурн» выделили производство лопаток турбины в полностью автоматическом цикле в от-

дельный производственный участок, являющийся центром компетенций по производству лопаток турбин нового поколения ГТД.

Центр производственных компетенций (ЦПК) производства лопаток турбин, основанный на автоматизированной комплексной технологии обработки, соответствует следую-

щим содержательным признакам:

1. Производственные линии состоят из автоматизированного технологического оборудования в последовательности, отвечающей реализуемой в линии групповой технологии изготовления лопаток. Количество линий соответствует количеству групповых процессов, реализуемых в ЦПК.

2. Производство лопаток имеет замкнутый производственный цикл, позволяющий управлять в рамках ЦПК изготовлением лопаток от заготовки до готовой детали.

3. Производство специализированно, т.е. деталей, подобных лопаткам турбин, за пределами ЦПК не изготавливается.

4. Персонал ЦПК обладает исключительными компетенциями в области разработки и обслуживания технологических процессов изготовления лопаток турбин, а также сопутствующими техпроцессами, влияющими на деятельность ЦПК.

5. На НПО «Сатурн» в ЦПК по изготовлению лопаток турбин организовано два технологических участка реализующих соответствующие групповые автоматизированные технологии, а именно: участок обработки рабочих лопаток ротора и участок обработки сопловых лопаток статора.

6. Конструктивный облик лопаток ротора и статора, объединенных в рамках соответствующей групповой технологии приведен на рис. 3, 4 (см. обложку).

7. По каждой групповой технологии обрабатываются детали различных типоразмеров, а именно: в потоке обработки рабочих лопаток семь наименований деталей; в потоке обработки сопловых блоков шесть наименований.

В соответствии с типом реализуемой групповой технологии производственные мощности ЦПК подразделяются на участок (линию) обработки рабочих лопаток и участок (линию) обработки сопловых лопаток (рис. 5, 6, см. обложку).

Диапазон типоразмеров обрабатываемых деталей составляет от 40 до 300 мм по длине проточной части. Мощность участка – сотни тысяч рабочих лопаток сопловых блоков в год. Мощности состоят из специального шлифовального оборудования, в основном многоцелевых станков фирмы «Станковендт» мод. SLS и SXS.

Многоцелевое оборудование для обработки рабочих и сопловых лопаток однотипно, имеет одинаковые базовые модели, отличающиеся несколько большей комплектацией (коли-

чеством опций) в части станков для обработки сопловых блоков. Кроме многоцелевого технологического оборудования, осуществляющего комплексную обработку лопаток, технологические потоки содержат несколько плоско-шлифовальных станков для глубинного шлифования мод. ЛШ-220, осуществляющих автоматизированную обработку одновременно в двух управляемых перемещениях инструмента и детали.

Наряду с технологическим оборудованием, для механической обработки в технологический поток встроено рабочее место по закреплению полуфабрикатов рабочих лопаток быстротвердеющей массой в брикет, а также рабочее место по освобождению лопаток из брикета. Рабочие места оснащены соответствующим технологическим оборудованием, а именно: электрической печью для приготовления расплава; прессом для раскалывания брикета (раскрепления деталей); а также специальной оснасткой для заливки деталей в брикет.

Кроме того в технологическом потоке размещены специальные места для складирования шлифовальных кругов, используемых в технологическом потоке, но не находящихся в данный конкретный момент в инструментальном магазине обрабатывающего центра; а также места для складирования полуфабрикатов при их движении по технологическому потоку. Движение полуфабрикатов по технологическому потоку осуществляется в специальной таре с соответствующими сопроводительными документами.

Особенностью современного производства лопаток турбин является введение обязательного электронного учета движения деталей (системы штрих-кодов на сопроводительных картах), для чего все рабочие места оснащаются персональными компьютерами, интегрированными в единую информационную сеть и считывателями штрих-кодов.

Одним из конкурентных преимуществ интегрированного производства является использование контрольной оснастки современной конструкции, т.е. оснащенной контактными щупами, передающими данные замера непосредственно в электронную базу и исключают влияние человеческого фактора при считывании измеряемых размеров с контрольных приборов.

Автоматизированное высокотехнологичное производство турбин, созданное НПО «Сатурн», – является центром компетенций ОДК в производстве деталей горячего тракта. На

этой площадке производятся не только детали для серийных двигателей Sam-146, но и обработка технологий и производство специальных деталей для новых перспективных двигателей, в частности ПД-14, изготавливаемого по отечественному проекту создания магистрального самолета МС-21.

Таким образом, данное производство наряду с функцией серийного завода исполняет роль опытной площадки ОДК по созданию новых инновационных продуктов, в том числе различными опытно-конструкторскими бюро. Причем данное производство опирается в основном на отечественные авторские технологии производства лопаток турбин, реализующиеся на отечественном оборудовании отечественным инструментом, что делает данное производство технически независимым от зарубежных производителей аналогичных продуктов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Поletaev, В.А., Цветков, Е.В. Совершенствование автоматизированных технологических процессов шлифо-

вания лопаток ГТД // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2013. – № 4(22). – С. 34–37.

2. Макаров, В.Ф., Никитин, С.П., Норин, А.О. Повышение качества и производительности при профильном глубинном шлифовании турбинных лопаток // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2016. – №5(59). – С. 17–23.

REFERENCES

1. Poletaev V.A., Tsvetkov E.V. Improvement of automated grinding processes of GTE blades // *Science intensive technologies in mechanical engineering*. – 2013. – №4(22). – pp. 34-37.

2. Makarov V.F., Nikitin S.P., Norin A.O. Quality and productivity increase at profile creep feed grinding of turbine blades // *Science intensive technologies in mechanical engineering*. – 2016. – №5(59). – pp. 17– 23.

Рецензент д.т.н. В.Ф. Макаров

УДК 621.9
DOI: 10.12737/22577

А.С. Ямников, д.т.н.,
А.О. Чуприков, к.т.н.,
А.И. Харьков, аспирант
(Тульский государственный университет,
300012. Россия, г. Тула, пр. Ленина, 92)
E-mail: Yamnikovas@mail.ru, ArtemLine@rambler.ru

Определение составляющих силы резания при точении в зависимости от механических свойств обрабатываемого материала

Приведены аналитические зависимости, позволяющие без эксперимента рассчитать составляющие силы резания при точении с учетом износа инструмента по задней поверхности. Экспериментальная проверка показала приемлемость найденных зависимостей для практического применения, особенно важную при обработке материалов новых марок.

Ключевые слова: сила резания; аналитическое определение; износ инструмента.

A.S. Yamnikov, D.Eng.,
 A.O. Chuprikov, Can.Eng.,
 A.I. Kharkov, Post graduate student
 (Tula State University, 92, Lenin Avenue, Tula, 300012. Russia)

Definition of cutting force constituents at turning depending on stress-strain properties of material worked

Cited in the reference literature, empirical formula is usually acceptable for standard materials processed. When new materials have to repeat the experiments again. The article presents the analytical relationships derived from the generalization of the work of Russian and American scientists, in particular: VF Bobrov, NI Lvov, VS Kushner, a Merchant ME, Astakhov, V.P. These relationships relate the values of the components of the cutting force with time and the actual yield strength of the material being processed, making it much easier to calculate the components of the experiment of cutting force in turning based on the radius of curvature of the cutting edge and tool wear on the rear surface. Shrinkage factor chips taken approximately equal to one. Experimental verification showed acceptability found dependences for practical use, particularly important in the processing of materials of new brands.

Keywords: cutting force; analytical definition; tool wear.

Обычно в технологии машиностроения при расчете сил резания пользуются справочными таблицами или эмпирическими формулами [1]. При работе заводского технолога этого обычно достаточно. В случае углубленного исследования процессов резания приходится прибегать к экспериментальному определению необходимых силовых зависимостей [2 – 4].

Так, при определении напряжений в резборезушей пластине численным моделированием авторам пришлось использовать формулы из работы Боброва В.Ф. [1], которые были выведены для конкретных случаев. В настоящее время появляются новые конструкционные и инструментальные материалы, поэтому для определения силовых зависимостей требуются новые эксперименты [4 – 5].

В работах Кушнера В.С. [6] и Астахова В.П. [7] дается обоснование возможности аналитического определения составляющих силы резания, что очень важно при численном моделировании процессов резания с использованием новых материалов [4 – 5].

В общем случае величина и направление равнодействующей силы R зависит от множества факторов: степени деформации металла в зоне резания, формы и размеров поперечного сечения среза, физико-механических свойств обрабатываемого материала, геометрических параметров режущего инструмента и степени его износа.

Ортогональная система для описания составляющих сил резания металла была впервые предложена М.Е. Merchant [8] (рис. 1).

Далее приведены зависимости составляющих силы резания, действующих на прямоли-

нейном участке резца, полученные в работе [6]:

$$P_x = (F \cos \gamma - N \sin \gamma + N_1) \cdot \sin \psi; \quad (1)$$

$$P_y = (F \cos \gamma - N \sin \gamma + N_1) \cdot \cos \psi + N_2; \quad (2)$$

$$P_z = F \sin \gamma + N \cos \gamma + F_1; \quad (3)$$

где P_x, P_y, P_z – составляющие силы резания, разложенной по соответствующим координатным осям; γ – передний угол инструмента; ψ – угол между диагональю сечения срезаемого слоя и направлением подачи (рис. 2); F – сила трения на передней поверхности (рис. 3); N – сила нормального движения на передней поверхности инструмента; F_1, N_1 – сила трения и сила нормального давления на задней поверхности инструмента; N_2 – сила на участке зачищающей кромки инструмента.

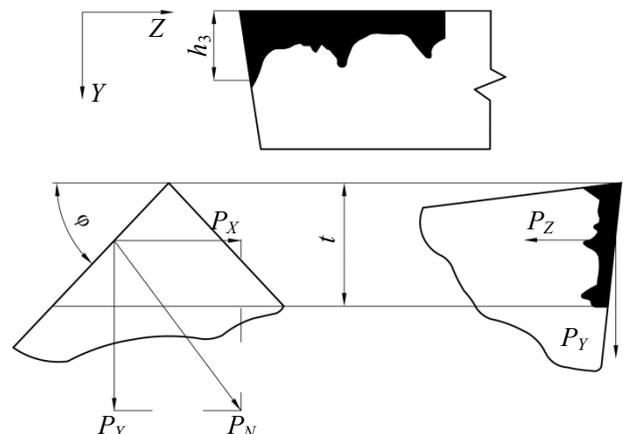


Рис. 1. Элементы износа и заточки резца

В свою очередь

$$F_1 = \mu_1 \cdot N_1;$$

$$N_1 = q_{N1} \cdot h_3 \cdot b; \quad (4)$$

где μ_1 – коэффициент трения; b – ширина срезаемого слоя, $b = t/\sin \varphi$; t – глубина резания, мм; φ – главный угол в плане; q_{N1} – среднее нормальное напряжение на задней поверхности, $q_{N1} \cong \sigma_6$ [8]; h_3 – длина поверхности контакта по задней поверхности инструмента.

В зависимостях (1) – (3) предполагается резание совершенно острым инструментом, не сосредоточенной силой на режущей кромке, непрерывный сдвиг, плоская деформация, равномерное распределение нагрузки на плоскости сдвига, и равновесие под действием равных и противоположных результирующих сил, действующих в зоне резания.

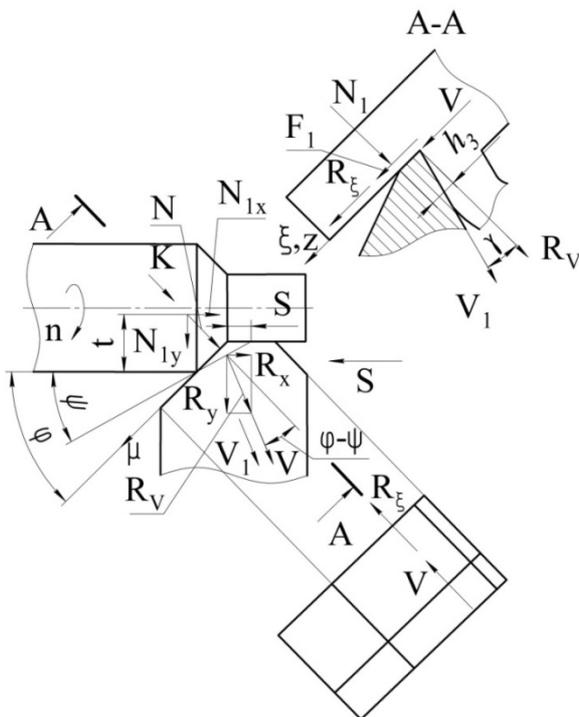


Рис. 2. Ортогональные модели режущего инструмента

Зависимости (1) – (3) выражают соотношения между силами, возникающими при резании на передней и задней поверхности режущего клина. Чтобы связать эти зависимости с механическими свойствами обрабатываемого материала рассмотрим модель, представленную на рис. 3.

Из приведенной схемы видно, что

$$N_1 = \sigma_6 \cdot h_3 \cdot (t/\sin \varphi); \quad F_1 = \mu \cdot \sigma_6 \cdot h_3 \cdot (t/\sin \varphi).$$

$$N = \frac{0,8\sigma_{\partial} st/\sin \beta - 0,6\sigma_{\partial} st \sin(\beta - \gamma) + \sigma_6 h_3 \sin \beta \cdot t/\sin \beta - \mu \sigma_6 h_3 \cos \beta \cdot t/\sin \beta}{\cos(\beta - \gamma)},$$

где σ_6 – предел прочности обрабатываемого материала (временное сопротивление).

Соответственно:

Силу трения F на передней поверхности найдем из следующего выражения $F = q_F \cdot b \cdot c$; где c – длина контакта стружки с резцом, $c \cong a = s \sin \varphi$ [6]; q_F – касательное напряжение на передней поверхности резца. По данным [6] $q_F = 0,6\sigma_{\partial}$, где σ_{∂} – действительный предел прочности обрабатываемого материала при растяжении. Тогда $F = 0,6 \sigma_{\partial} t s$.

Для того чтобы определить величину силы N , спроецируем силы на передней поверхности на плоскость сдвига (см. рис. 3):

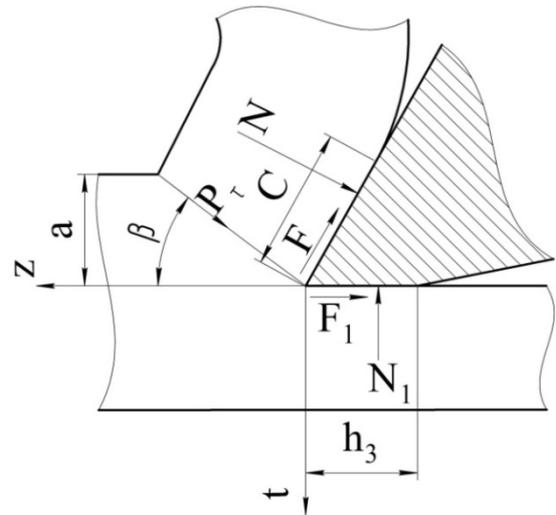


Рис. 3. Схема сил на передней и задней поверхностях инструмента

$$P_{\tau} = N \cdot \cos(\beta - \gamma) + F \cdot \sin(\beta - \gamma) - N_1 \cdot \sin \beta + F_1 \cdot \cos \beta,$$

откуда

$$N = \frac{P_{\tau} - F \sin(\beta - \gamma) + N_1 \sin \beta - F_1 \cos \beta}{\cos(\beta - \gamma)}.$$

Касательную силу в плоскости сдвига P_{τ} определим следующим образом:

$$P_{\tau} = \tau \frac{ab}{\sin \beta};$$

где τ – касательное напряжение в плоскости сдвига, $\tau = 0,8 \sigma_{\partial}$ [6]; $ab/\sin \beta$ – площадь плоскости сдвига; $\beta = \arctg(\cos \gamma / (K_L - \sin \gamma))$ [1], K_L – коэффициент усадки стружки.

По данным работы [5] при точении закаленных малолегированных конструкционных сталей можно принять $K_L = 1,15$. Тогда

$$P_{\tau} = 0,8 \cdot \sigma_{\partial} \cdot st/\sin \beta;$$

$$P_x = (0,6\sigma_o ts \cos \gamma + \sigma_o h_3 (t / \sin \varphi) - \frac{0,8\sigma_o (st / \sin \beta) - 0,6\sigma_o st \sin(\beta - \gamma) + \sigma_o h_3 (t \sin \beta / \sin \varphi)}{\cos(\beta - \gamma)} - \frac{\mu\sigma_o h_3 (t / \sin \varphi) \cos \beta}{\cos(\beta - \gamma)} \sin \gamma) \sin \psi; \quad (5)$$

$$P_y = 2\sigma_o h_3 s + (0,6\sigma_o ts \cos \gamma + \sigma_o h_3 (t / \sin \varphi) - \frac{0,8\sigma_o (st / \sin \beta) - 0,6\sigma_o st \sin(\beta - \gamma) + \sigma_o h_3 (t / \sin \varphi) \sin \beta}{\cos(\beta - \gamma)} - \frac{\mu\sigma_o h_3 (t / \sin \varphi) \cos \beta}{\cos(\beta - \gamma)} \sin \gamma) \cos \psi; \quad (6)$$

$$P_z = 0,6\sigma_o ts \sin \gamma + \mu\sigma_o h_3 (t / \sin \varphi) + \frac{0,8\sigma_o (st / \sin \beta) - 0,6\sigma_o st \sin(\beta - \gamma) + \sigma_o h_3 (t / \sin \varphi) \sin \beta}{\cos(\beta - \gamma)} - \frac{\mu\sigma_o h_3 (t / \sin \varphi) \cos \beta}{\cos(\beta - \gamma)} \cos \gamma. \quad (7)$$

Совокупность уравнений (5 – 7) представляет собой математические зависимости составляющих силы резания, которые учитывают действительный предел прочности материала во время резания. Последнее обстоятельство позволяет надеяться на повышение объективности при расчете составляющих сил резания.

В работе [6] имеется аналитически не показанная величина h_3 . Из рассмотрения рис. 3 можно полагать, что это фаска износа по задней поверхности. Таким образом, когда инструмент новый, острозаточенный, или если инструмент изготовлен, например, из режущей керамики, то фаски износа нет. Однако задняя поверхность в любом случае контактирует с обработанной, вдавливаясь в неё для осуществления собственно процесса резания, как это показано в работе [8], посвященной определению минимальной удельной нормальной силы, необходимой для начала резания.

Определение минимальной удельной нормальной силы резания связано с определением минимальной толщины срезаемого слоя. К настоящему времени сложилось мнение, что минимальная толщина срезаемого слоя a_{\min} прямо зависит от радиуса скругления режущего клина ρ и в 2 – 4 раза меньше его [8]. Единственная теоретически обоснованная и удовлетворяющая экспериментальным данным зависимость, связывающая названные величины, предложена Львовым Н.И. [9]:

$$a_{\min} = 0,293\rho. \quad (8)$$

В теории пластичности решена задача определения нормальной силы, необходимой для вдавливания абсолютно жесткого круглого штампа радиусом r в пластическую среду.

Для указанного случая Безуховым Н.И. [10]

была получена зависимость

$$q = 4\tau_T r [1 - \theta \sin \theta - \cos \theta + (0,5\pi + 1) \sin \theta], \quad (9)$$

где q – равнодействующая давления для круглого штампа на единице его длины; τ_T – предел текучести при чистом сдвиге; r – радиус штампа; θ – угол между нормальными к обрабатываемой поверхности и контуру инструмента в точке их контакта.

Так как при резании удельные деформации материала инструмента значительно ниже деформаций материала детали, то задачу об усилении вдавливания режущего клина в обрабатываемый материал можно решать по зависимости (9). Однако вследствие небольшой величины заднего угла металлорежущих инструментов кривая контакта режущего клина с обрабатываемым материалом в момент начала резания будет состоять не только из дуги радиуса ρ , но и из отрезка прямой FC (рис. 4), что не позволяет использовать формулу (9) в неизменном виде.

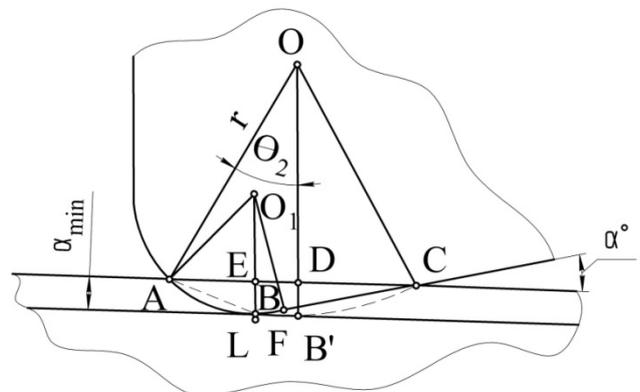


Рис. 4. Схема вдавливания режущего клина в обрабатываемый материал

Для использования формулы (9) заменим

кривую $ABFC$ дугой окружности $AB'C$ с приведенным радиусом r , величина которого

может быть найдена из треугольников AO_1E , AOD и CLE :

$$r = \frac{\left[\sqrt{a_{\min}(2\rho - a_{\min})} + \rho \operatorname{tg}(\alpha/2) + a_{\min} \operatorname{ctg} \alpha \right] + 4a_{\min}^2}{8a_{\min}}, \quad (10)$$

где α – задний угол инструмента.

Подставляя в уравнение (10) значение a_{\min} из уравнения (8), получим

$$r = 0,146\rho \left[2,83(0,707 + \operatorname{tg}(\alpha/2) + 0,293 \operatorname{ctg} \alpha)^2 + 1 \right]. \quad (11)$$

После замены режущего клина инструмента на круглый штамп с приведенным радиусом r угол контакта штампа с пластической средой можно найти по зависимости

$$\cos \theta_2 = (r - a_{\min})/r. \quad (12)$$

Принимая $\tau_T = \frac{2}{3}\sigma_T$ [10], получим

$$q = 8/3\tau_T r [1 - \theta_2 \sin \theta_2 - \cos \theta_2 + (0,5\pi + 1)\sin \theta_2]. \quad (13)$$

Таким образом, для определения минимальной удельной нормальной силы резания по формуле (9) необходимо знать ρ инструмента и σ_T обрабатываемого материала.

Используя рис. 4, можем полагать длину контакта по задней поверхности $h_3 = AC$, причем AC – см. рис. 4, а h_3 – см. формулу (4) и рис. 2 и 3. Подставляя эту величину в формулы (5) – (7) можно аналитически найти значение силы резания по координатным осям.

Для оценки адекватности зависимостей (5) – (7) для разных величин износа по поверхности инструмента проведены экспериментальные исследования. Заготовка, изготовленная из стали 40X (ГОСТ 4543–71) устанавливалась в центрах, а в универсальный динамометр конструкции ВНИИ вставлялся резец M02L012520M08 (РФ) с механическим креплением режущей сменной многогранной пластины (СМП) WNMG 080408 MC, изготовленной из твердого сплава ТТ8115 производства фирмы TaeguTec (Южная Корея).

Заготовка обрабатывалась без применения СОЖ с режимами резания, указанными в таблице, и параметрами инструмента: $\gamma = 0^\circ$, $\varphi = 95^\circ$, $\varphi_1 = 5^\circ$, $r = 0,8$ мм.

Экспериментальные данные с динамометра в процессе резания проходили через усилитель, аналого-цифровой преобразователь и заносились в память ноутбука в виде базы данных в формате файла xls.

Полученные результаты обрабатывались по

специальной программе. В результате получены графики зависимости составляющих силы резания от износа пластинки по задней поверхности, представленные на рис. 5.

1. Режимы резания

Параметр	Обозначение	Значение
Диаметр обрабатываемой заготовки, мм	D	50,05
Диаметр обработанной поверхности, мм	d	48,04
Подача, мм/об	s	0,25
Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	n	630
Глубина резания, мм	t	1
Скорость резания, м/мин	v	98,96

Там же представлены значения составляющих силы резания, рассчитанные при тех же режимах и условиях резания, что и в эксперименте, по формулам (5) – (7) модели силы резания [6] с ростом износа по задней поверхности резца.

Из графиков видно, что все составляющие силы резания увеличиваются при износе пластинки по задней поверхности. Это увеличение в большей мере относится к радиальной составляющей P_Y , которая в конкретном случае увеличивается в $k_{\text{изн.}P_Y} = 1,7$ раз, в то время как главная составляющая P_Z – только в 1,1 раза.

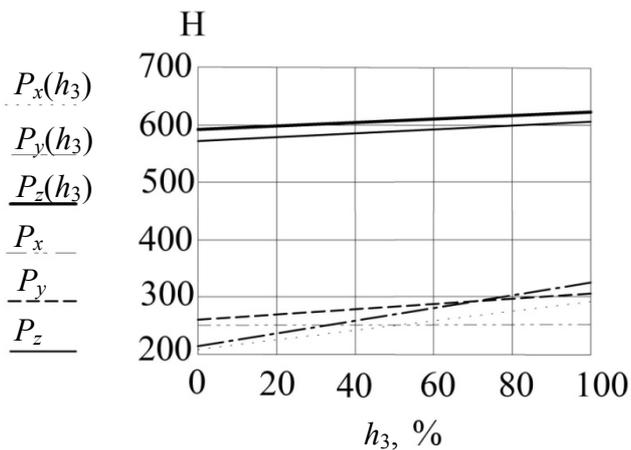


Рис. 5. Графики зависимостей составляющих силы резания от износа режущей пластины (радиус при вершине $r = 0,8$ мм):

$P_x(h_3)$, $P_y(h_3)$, $P_z(h_3)$ – расчетные значения, полученные по уравнениям (5)–(7); P_x , P_y , P_z – экспериментальные значения

Из сопоставления расчетных и экспериментальных данных, представленных на рис. 5, видно, что значения главной составляющей силы резания P_z практически совпадают. Таким образом, формула (7) достоверна. В тоже время формулы (5) и (6) для острого резца дают при расчете погрешность до 13 %. Тем не менее, для технологических расчетов это вполне допустимо и все формулы (5) – (7) можно рекомендовать для практических расчетов, в том числе и при моделировании процессов обработки резанием новых конструкционных материалов при известных временном и действительном пределе прочности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бобров, В.Ф. Многопроходное нарезание крепежных резьб резцом. – М.: Машиностроение, 1982. – 104 с.
2. Ямников, А.С., Ямникова, О.А. Исследование силовых параметров процесса нарезания резьбы резцами с керамическими пластинками // Прогресивні технології і системи машинобудування. Донецк. – 2016. – № 1. – С. 151–157.
3. Ямников, А.С., Чуприков, А.О., Харьков, А.И. Утолщение стружки при точении высокопрочных сталей // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2016. – № 8. Ч. 1 – С. 194–201.
4. Ямников, А.С., Чуприков, А.О., Харьков, А.И. Повышение ресурса инструмента при нарезании усиленной упорной резьбы на заготовках из высокопрочных материалов // СТІН. – 2015. – №6. – С. 17–21.
5. A.S. Yamnikov, A.O. Chuprikov and A.I. Khar'kov. Extending Tool Life in Buttress-Thread Cutting on High-

Strength Blanks / ISSN 1068-798X, Russian Engineering Research, 2015, Vol. 35, No. 12, pp. 953–956.

6. Кушнер, В.С. Термомеханическая теория процесса непрерывного резания пластичных материалов: монография. – Иркутск. Изд-во Иркут. ун-та, 1982. – 180 с.

7. Astakhov V.P. Authentication of FEM in metal cutting. Chapter 1 in book Finite Element Method in Manufacturing Processes. J.P. Davim, Ed., New York: Wiley, 2011, P. 1-43.

8. Ямников, А.С., Мягков, Ю.В. Определение минимальной удельной нормальной силы, необходимой для начала резания // Известия вузов. – М.: Машиностроение, 1979. № 12. – С. 111–115.

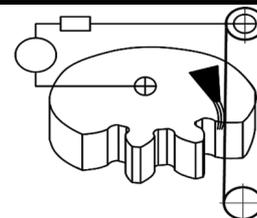
9. Львов, Н.П. Определение минимальной возможной толщины срезаемого слоя // Станки и инструмент. – 1969. – № 4. – С. 21–33.

10. Безухов, Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. – М.: Издательство: Высшая школа, 1961. – 532 с.

REFERENCES

1. Bobrov, V.F. *Multi-pass Fastening Thread Cutting with Cutter*. – М.: Mechanical Engineering, 1982. – pp. 104.
2. Yamnikov, A.S., Yamnikova, O.A. Investigation of power parameters of thread cutting process with ceramic plated cutters // *Promising Techniques and Systems of Mechanical Engineering*. Donetsk. – 2016. – № 1. – pp. 151–157.
3. Yamnikov, A.S., Chuprikov, A.O., Kharkov, A.I. Chip thickening at high-strength steel turning // *Proceedings of Tula State University. Engineering Sciences*. – 2016. – № 8. Part 1 – pp. 194–201.
4. Yamnikov, A.S., Chuprikov, A.O., Kharkov, A.I. Tool Life Increase at Reinforced Thrust Thread Cutting in High-Strength Blanks // *STIN*. – 2015. – №6. – pp. 17–21.
5. A.S. Yamnikov, A.O. Chuprikov and A.I. Khar'kov. Extending Tool Life in Buttress-Thread Cutting on High-Strength Blanks / ISSN 1068-798X, Russian Engineering Research, 2015, Vol. 35, No. 12, pp. 953–956.
6. Kushnir, V.S. *Thermo-mechanical Theory of Ductile Materials Continuous Cutting*: monograph. – Irkutsk. Publishing House of Irkutsk University, 1982. – pp. 180.
7. Astakhov V.P. Authentication of FEM in metal cutting. Chapter 1 in book *Finite Element Method in Manufacturing Processes*. J.P. Davim, Ed., New York: Wiley, 2011, P. 1-43.
8. Yamnikov, A.S., Myagkov, Yu.V. Definition of minimum specific normal force essential for cutting beginning // *College Proceedings*. – М.: Mechanical Engineering, 1979. № 12. – pp. 111–115.
9. Lvov, N.P. *Definition of minimum-possible thickness of layer cut* // *Machines and Tools*. – 1969. – № 4. – pp. 21–33.
10. Bezukhov, N.I. *Fundamentals of Theory of Elasticity, Plasticity and Creep*. – М.: Higher School Publishing House, 1961. – pp. 532.

Рецензент д.т.н. А.В. Хандожко



УДК 621.9.047
DOI: 10.12737/22578

Х.М. Рахимьянов, д.т.н.,
Н.П. Гаар, к.т.н.,
А.А. Локтионов, старший преподаватель
(Новосибирский государственный технический университет,
630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20)
E-mail: kharis51@mail.ru

Особенности активации анодного растворения при лазерно-электрохимической обработке безвольфрамового твердого сплава КНТ-16 в 10%-ном водном растворе нитрата натрия

Рассмотрены особенности электрохимического растворения безвольфрамового твердого сплава КНТ-16 в водном растворе нитрата натрия без наложения лазерного излучения и при воздействии лазерного излучения с длинами волн 1,06 мкм и 0,53 мкм. Установлено, что наложение лазерного излучения обеих длин волн (1,06 мкм и 0,53 мкм) в зону обработки при использовании частоты следования импульсов равной 10 кГц позволяет повысить плотность тока по сравнению с растворением без наложения излучения в 3 и 5 раз, соответственно.

Ключевые слова: лазерно-электрохимическая обработка; электролит; лазерное излучение; безвольфрамовый твердый сплав.

Kh.M. Rakhimyanov, D.Eng.,
N.P. Gaar, Can.Eng.,
A.A. Loktionov, Senior lecturer
(Novosibirsk State Technical University,
20, K. Marx Avenue, Novosibirsk, 630073)

Peculiarities of anodic dissolution activation at laser-electrochemical treatment of KNT-16 no-tungsten hard alloy in 10 % water solution of sodium nitrate

The peculiarities of an electrochemical dilution of KNT-16 tungstenless hard alloy in the water solution of sodium nitrate without laser emission imposition and at the impact of laser emission with wave lengths of 1.06 mcm and 0.53 mcm have been considered. It is established that the imposition of laser emission of both wave lengths (1.09 mcm and 0.53 mcm) in the area of treatment with the use of the frequency of pulse sequence equal to 10 kHz allows increasing current density as compared with the dilution without emission imposition three – five times more.

Keywords: laser-electrochemical treatment; electrolyte; laser emission; tungstenless hard alloy.

Безвольфрамовые твердые сплавы находят все большее применение в инструментальном производстве и в качестве конструкционных материалов как альтернатива традиционно ис-

пользуемым вольфрамо-кобальтовым, титано-кобальтовым модификациями твердых сплавов. Однако их относительно невысокая ударная вязкость, низкая теплопроводность и зна-

чительный коэффициент термического расширения накладывают определенные ограничения к теплонапряженности в процессе обработки.

При традиционных методах механической обработки (шлифование) наблюдается склонность безвольфрамовых твердых сплавов к трещинообразованию [1]. В связи с этим для обработки данного класса материалов привлекательным представляется использование электрофизических технологий и, в первую очередь, электрохимической размерной обработки (ЭХРО), исключаяющей как силовое, так и температурное воздействие на обрабатываемый материал.

Независимость обрабатываемости материалов при электрохимической обработке от их физико-механических свойств, обеспечение высокой точности и качества обрабатываемых поверхностей, возможность получения сложных геометрических форм изделия при использовании простых схем движения инструмента сделали данный вид обработки одним из основных для широкого класса материалов, в том числе и труднообрабатываемых. Однако невысокая производительность электрохимической размерной обработки накладывает определенные ограничения на ее использование для решения ряда технологических задач.

В настоящее время разработаны способы интенсификации процессов электрохимического растворения материалов, подробно описанные авторами в работах [2, 3]. Одним из перспективных путей повышения производительности обработки является электрохимическое растворение материала в условиях лазерного воздействия, получившего название лазерно-электрохимической размерной обработки (ЛЭХРО) [4].

Данный способ основан на введении импульсного лазерного излучения в зону электрохимического растворения, причем его мощность ограничивается температурой кипения электролита [5]. Использование лазерного излучения в электрохимических процессах позволяет задействовать различные механизмы их активации в зависимости от его параметров (длина волны, частота следования импульсов, мощность).

Настоящее исследование посвящено изучению влияния параметров лазерного излучения на характер анодного растворения безвольфрамового твердого сплава КНТ-16 в 10 %-ном водном растворе нитрата натрия. Используемый в экспериментах электролит относится к пассивирующим электролитам, для кото-

рых характерны низкая скорость электрохимического растворения. Выбор состава электролита и его концентрации основан на рекомендациях работы [6].

В таблице приведен химический состав безвольфрамового твердого сплава марки КНТ-16.

Химический состав безвольфрамового твердого сплава КНТ-16 по ГОСТ 26530-85

Состав, %		
Карбонитрид титана, TiCN	Никель, Ni	Молибден, Mo
74	19,5	6,5

Исследование влияния лазерного излучения на процесс электрохимического растворения обрабатываемого материала проводилось на специально разработанной установке, схема и внешний вид которой представлены на рис. 1, 2.

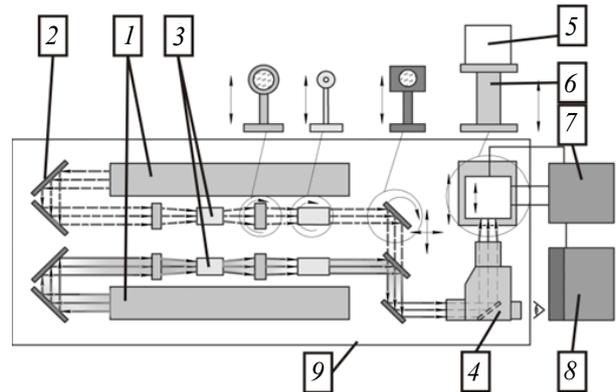


Рис. 1. Схема установки для поляризационных исследований лазерной активации электрохимических процессов:

1 – импульсный лазерный излучатель с перенастраиваемой частотой; 2 – поворотные зеркала; 3 – нелинейный преобразователь; 4 – система оптическая комбинированная (СОК); 5 – электрохимическая ячейка; 6 – предметный столик; 7 – потенциостат; 8 – персональный компьютер; 9 – оптическая скамья

Подробное описание работы установки и ее конструктивные особенности даны в статье [7]. Установка предназначена для проведения поляризационных исследований (потенциодинамических, потенциостатических) как в условиях электрохимического растворения, так и при введении лазерного излучения в зону обработки.

Наличие в составе установки системы оптической комбинированной (СОК) позволяет

осуществлять плавную регулировку размера зоны лазерного воздействия с возможностью визуального контроля процесса, а при оснащении установки фоторегистратором – производить съемку быстропротекающих процессов в приэлектродных областях.

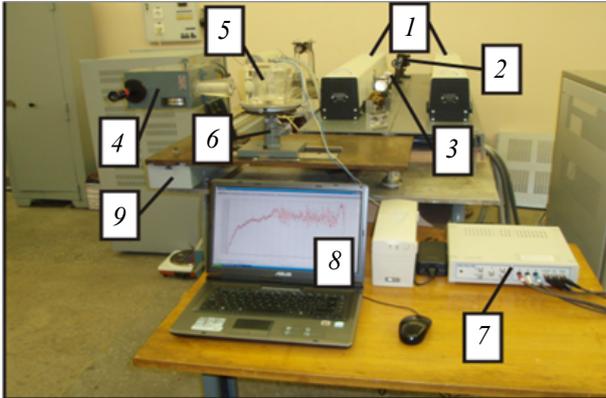


Рис. 2. Внешний вид установки для поляризационных исследований лазерной активации электрохимических процессов:

1 – импульсный лазерный излучатель с перенастраиваемой частотой; 2 – поворотные зеркала; 3 – нелинейный преобразователь; 4 – система оптическая комбинированная (СОК); 5 – электрохимическая ячейка; 6 – предметный столик; 7 – потенциостат; 8 – персональный компьютер; 9 – оптическая скамья

Использование в составе экспериментальной установки специально разработанного и изготовленного импульсного лазера с перенастраиваемой частотой позволяет исследовать влияние лазерного излучения в определенном диапазоне длин волн (1,32 мкм; 1,06 мкм; 0,63 мкм; 0,53 мкм) с регулируемой частотой следования импульсов (от 1 Гц до 30 кГц) на процессы электрохимического растворения токопроводящих материалов.

В настоящем исследовании были использованы длины волн в разном спектре лазерного излучения (1,06 мкм; 0,53 мкм). Так длина волны равная 1,06 мкм, относящаяся к диапазону инфракрасного излучения, совпадает с частотами собственных колебаний молекул растворов [8]. Предполагается, что сообщение молекулам дополнительной энергии от лазерного излучения позволит вывести их на более высокий энергетический уровень, что обеспечит повышение их реакционной способности в электрохимических процессах. Использование лазерного излучения в спектре коротковолнового диапазона (0,53 мкм) может быть перспективным с позиций возбуждения электронного состояния и фотоионизации атомов и молекул [8].

Уровень плотности мощности излучения, связанный с ограничениями по нагреву электролита, был определен по результатам математического моделирования процесса, описанного в работе [5].

В качестве прибора, задающего развертку потенциала и регистрирующего установившееся значение тока при потенциодинамических исследованиях процесса, в экспериментальной установке использовался потенциостат модели IPC-Pro-M. Развертка потенциала осуществлялась автоматически от 0 до 5 В со скоростью 0,2 В/с.

Электродом сравнения в поляризационных исследованиях являлся платиновый электрод. Для исключения влияния лазерного излучения на результаты регистрации, предварительной юстировкой исключалось его попадание на электрод сравнения. Конструктивные особенности электрохимической ячейки, предназначенной для лазерной активации процесса, подробно описаны в работе [9].

Результаты поляризационных исследований анодного поведения сплава КНТ-16 в условиях электрохимического растворения и при лазерной активации процесса представлены на рис. 3.

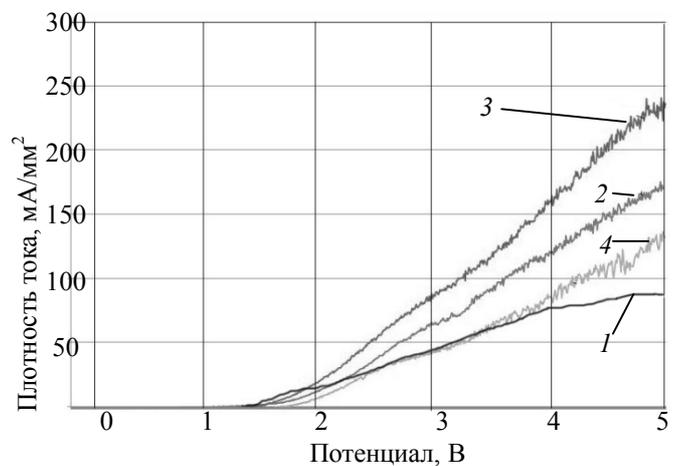


Рис. 3. Поляризационные кривые, полученные потенциодинамическим методом при обработке твердого сплава КНТ-16 в 10%-ном водном растворе нитрата натрия:

1 – электрохимическая обработка (ЭХРО); 2, 3, 4 – лазерно-электрохимическая обработка (ЛЭХРО) с длиной волны лазерного излучения 1,06 мкм; плотностью мощности $1,06 \cdot 10^6$ Вт/м²; частотой следования импульсов 5 кГц (кривая 2), 10 кГц (кривая 3), 15 кГц (кривая 4)

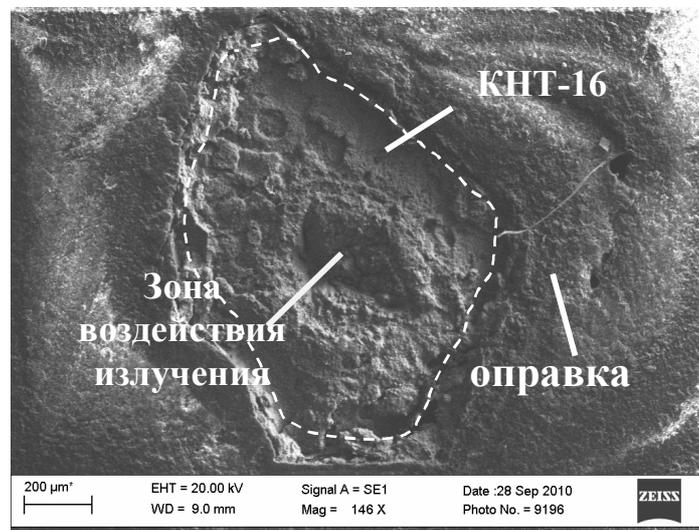
Анализ поляризационной кривой 1 (см. рис. 3), соответствующей электрохимическому растворению твердого сплава в растворе нитрата

натрия, свидетельствует о растворении материала в диапазоне потенциалов свыше 1,5 В. Повышение потенциала до 5 В сопровождается ростом плотности тока до 80 мА/мм².

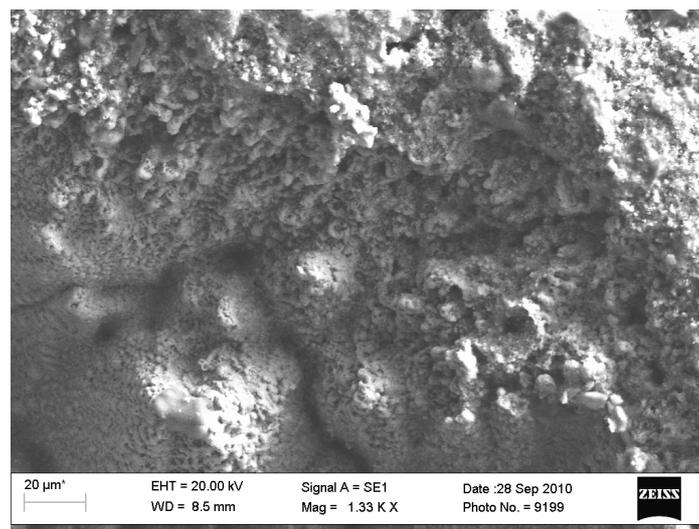
Характер кривой свидетельствует о наличии пассивационных явлений, связанных с образованием различного рода окисных и окисных пленок [1]. Введение лазерного излучения с длиной волны 1,06 мкм во всем диапазоне частот следования импульсов сопровождается увеличением плотности тока, что отражает интенсификацию процесса анодного растворения обрабатываемого материала. При этом максимальное значение плотности тока, равное 240 мА/мм², достигается на 10 кГц частоте следования импульсов.

Интенсификация процесса электрохимического растворения других материалов в 10 %-ном водном растворе нитрата натрия лазерным излучением с отмеченными параметрами подтверждается результатами исследований, полученных в работе [10].

На рис. 4 показан внешний вид и морфология зоны обработки сплава КНТ-16 после ЛЭХРО. Видно, что наиболее интенсивное электрохимическое растворение обрабатываемого материала в виде углубления наблюдается в области фокусировки лазерного излучения (рис. 4, а). Морфология поверхности, представленная на рис. 4, б подтверждает электрохимический характер удаления материала.



а)



б)

Рис. 4. Поверхность твердого сплава КНТ-16 после электрохимической обработки в 10 %-ном водном растворе нитрата натрия с наложением лазерного излучения с длиной волны 1,06 мкм:

а – зона обработки; б – морфология поверхности

Внешний осмотр поверхности сплава КНТ-16 после электрохимической обработки позволяет наблюдать наличие на ней окисной пленки, которая сохраняется на поверхности после снятия потенциала. Несмотря на наличие пассивирующей пленки, образующейся в процессе электрохимического растворения, введение лазерного излучения данной длины волны интенсифицирует процесс, приводя к трехкратному увеличению плотности тока.

Введение лазерного излучения с длиной волны 0,53 мкм в зону электрохимического растворения сопровождается еще большим увеличением плотности тока до 425 мА/мм² (кривая 1, рис. 5). При этом не наблюдается заметного влияния на характер поляризационной кривой частоты следования импульсов лазерного излучения. Значительная разница в реализуемых плотностях тока при различных длинах волн лазерного излучения (1,06 мкм – 240 мА/мм²; 0,53 мкм – 425 мА/мм²) свидетельствует о преобладающем действии механизмов активации, характерных коротковолновому спектру лазерного излучения.

Анализ морфологии поверхности сплава после ЛЭХРО с длиной волны излучения 0,53 мкм (рис. 6) указывает на отсутствие ярко выраженного углубления, характерного для обработки с излучением инфракрасного спектра (см. рис. 4, а). Вероятно, это можно объяснить усилением эффекта расфокусировки при действии коротковолнового излучения.

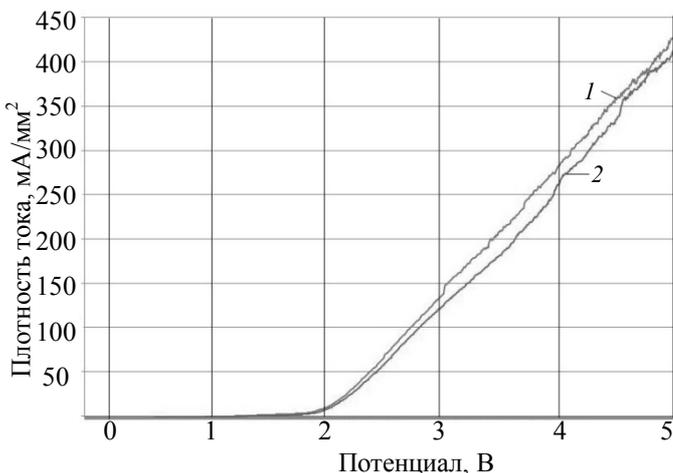


Рис. 5. Поляризационные кривые, полученные потенциодинамическим методом при обработке твердого сплава КНТ-16 в 10 %-ном водном растворе нитрата натрия при ЛЭХРО с длиной волны лазерного излучения 0,53 мкм; плотностью мощности $1,95 \cdot 10^6$ Вт/м² и частотой следования импульсов: 10 кГц (1); 15 кГц (2)

Как и при воздействии инфракрасного излучения на обрабатываемую поверхность после ЛЭХРО с длиной волны 0,53 мкм наблюдается наличие окисных пленок. Замечено, что окисные пленки, полученные при различных длинах волн лазерного излучения, имеют отличающийся внешний вид. Можно предположить, что реализация различных механизмов активации электрохимического растворения твердого сплава КНТ-16 при исследованных длинах волн лазерного излучения приводит к образованию отличающихся по химическому составу окисных пленок. Однако данное утверждение требует экспериментального подтверждения при дальнейших исследованиях в данном направлении.

Выводы

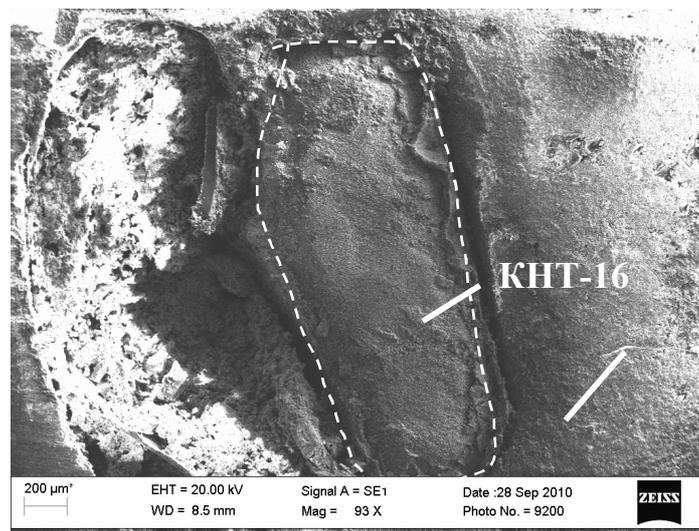
Характер поляризационной кривой электрохимического растворения сплава КНТ-16 в 10 %-ном водном растворе нитрата натрия свидетельствует о наличии пассивационных явлений при обработке, что связано с образованием окисных пленок.

Экспериментально подтверждена эффективность использования лазерно-электрохимической обработки (ЛЭХРО) безвольфрамового твердого сплава КНТ-16.

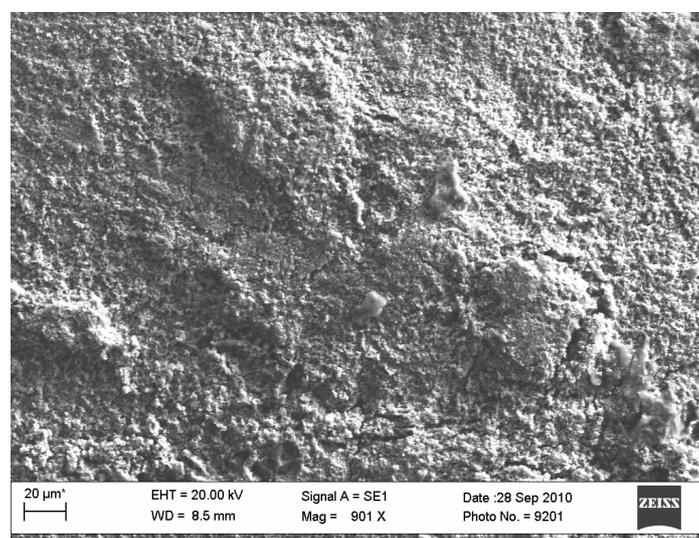
Потенциодинамические исследования показали на увеличение плотности тока при электрохимическом растворении материала за счет интенсификации процесса лазерным воздействием в исследуемом спектре излучения. Использование инфракрасного излучения с длиной волны 1,06 мкм позволило повысить плотность тока до 240 мА/мм², что в 3 раза превышает его значение при электрохимической обработке. Установлено, что максимальный эффект достигается при частоте следования импульсов излучения, равной 10 кГц.

Введение в процесс электрохимической обработки сплава КНТ-16 лазерного излучения длиной волны 0,53 мкм обеспечило интенсификацию электрохимического растворения с увеличением плотности тока в 5 раз.

Анализ обработанных поверхностей показал на наличие окисных пленок, различающихся по внешнему виду при введении лазерного излучения исследованных длин волн. Сделано предположение, что действие различных механизмов активации приводит к образованию отличающихся по химическому составу пленок.



a)



b)

Рис. 6. Поверхность твердого сплава КНТ-16 после электрохимической обработки в 10 %-ном водном растворе нитрата натрия с наложением лазерного излучения с длиной волны 0,53 мкм:
a – зона обработки; *б* – морфология поверхности

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рахимьянов, Х.М., Красильников, Б.А., Янпольский, В.В., Красильников, Д.Б. Электрохимическая обработка безвольфрамовых твердых сплавов // *Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты.* – 2010. – № 3(48). – С. 3–7.

2. Rakhimyanov H.M., Gaar N.P. Possible ways for intensification of dimensional electrochemical machining (DECM) // *IFOST. Novosibirsk- Tomsk, Russia, June 23–29, 2008 -Proceedings of the 3rd International Forum on Strategic Technologies.* – Novosibirsk. – 2008. – P. 106–107.

3. Гаар, Н.П., Рахимьянов, Х.М. Пути интенсификации электрохимической размерной обработки // *Ползуновский альманах.* – 2008. – № 4. – С. 191 – 192.

4. Рахимьянов, Х.М., Журавлев, А.И., Гаар, Н.П., Локтионов, А.А. Способ размерной обработки металлов и сплавов: Патент Рос. фед. № 2451582. 2010. Заявл. 07.07.2010 № 2010128204/02. Оpubл. 27.05.2012, Бюл. № 15. 11 с.

5. Рахимьянов, Х.М., Гаар, Н.П. Математическое моделирование при лазерной термоактивации электрохимической размерной обработке // *Современные технологические системы в машиностроении: Сб. тез. докл. Междунар. науч.-техн. конфер.* – Барнаул: АлтГТУ. – 2006. – С.45–47.

6. Рахимьянов Х.М., Красильников Б.А., Гаар Н.П., Журавлев А.И., Локтионов А.А. Методика выбора электролита для лазерно-электрохимической обработки // *Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты.* – 2012. – № 2(55). – С. 18–21.

7. Рахимьянов Х.М., Красильников Б.А., Гаар Н.П., Журавлев А.И., Локтионов А.А. Установка для исследования материалов в условиях лазерно-электрохимической обработки комбинированным излучением // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. - 2012. - № 3 (56). - С. 30-32.

8. Летохов, В.С. Селективное действие лазерного излучения на вещество // Успехи физических наук. - 1978. - Т. 125, вып. 1. - С. 57-94.

9. Рахимьянов, Х.М., Гаар, Н.П. Электрохимическая ячейка для исследования интенсификации ЭХРО лазерным излучением // Современные пути развития машиностроения и автотранспорта Кузбасса: Труды первой всероссийской научно-технической конференции. Кемерово: КузГТУ. - 2007. - С. 251-254.

10. Gaar N.P., Zhuravlev A.I., Loktionov A.A. Increase of NaNO₃ electrolyte reaction capability by laser irradiation for electrochemical machining // Applied Mechanics and Materials. - 2014. - Т. 698. - С. 312-315.

REFERENCES

1. Rakhimyanov, H.M., Krasilnikov, B.A., Yanpolsky, V.V., Krasilnikov, D.B. Electro-chemical treatment of tungstenless hard alloys // Metal Working: Techniques, Equipment, Tools. - 2010. - № 3(48). - pp. 3-7.

2. Rakhimyanov H.M., Gaar N.P. Possible ways for intensification of dimensional electrochemical machining (DECM) // IFOST. Novosibirsk- Tomsk, Russia, June 23-29, 2008 - Proceedings of the 3rd International Forum on Strategic Technologies. - Novosibirsk. - 2008. - P. 106-107.

3. Gaar, N.P., Rakhimyanov, H.M. Ways for intensification of electrochemical dimensional treatment // Polzunov Almanac. - 2008. - № 4. - pp. 191 - 192.

4. Rakhimyanov, Kh.M., Zhuravlyov, A.I., Gaar, N.P., Loktionov. A.A. Method of Metal and Alloy Dimensional Machining: Patent RF. № 2451582. 2010. Applied. 07.07.2010 № 2010128204/02. Published. 27.05.2012, Bull. № 15. Pp. 11.

5. Rakhimyanov, Kh.M., Gaar, N.P. Mathematical modeling at laser thermo-activation of electrochemical dimensional treatment // Modern Technological Systems in Mechanical Engineering: Proceedings of Inter. Scientific-Tech. Conf. - Barnaul: AltSTU. - 2006. - pp. 45-47.

6. Rakhimyanov Kh.M., Krasilnikov B.A., Gaar N.P., Zhuravlyov A.I., Loktionov A.A. Procedure of electrolyte choice for laser electrochemical treatment // Metal Working: Technology, Equipment, Tools. - 2012. - № 2(55). - pp. 18-21.

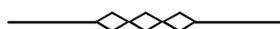
7. Rakhimyanov Kh.M., Krasilnikov B.A., Gaar N.P., Zhuravlyov A.I., Loktionov A.A. Plant for materials analysis under conditions of laser electrochemical treatment with combined emission // Metals Working: Technology, Equipment, Tools. - 2012. - № 3 (56). - pp. 30-32.

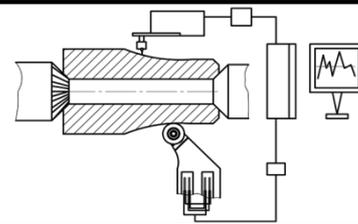
8. Letokhov, V.S. Selective effect of laser emission upon substance // Progress of Physical Sciences. - 1978. - Vol. 125, Issue. 1. - pp. 57-94.

9. Rakhimyanov, Kh.M., Gaar, N.P. Electrochemical cell investigation of ECRE intensification with laser emission// Modern Ways in Development of Mechanical Engineering and Motor Transport of Kuzbass: Proceedings of the 1-st All-Russian Sc.-Tech. Conf. Kemerovo: KuzSTU. - 2007. - pp. 251-254.

10. Gaar N.P., Zhuravlev A.I., Loktionov A.A. Increase of NaNO₃ electrolyte reaction capability by laser irradiation for electrochemical machining // Applied Mechanics and Materials. - 2014. - Т. 698. - С. 312-315.

Рецензент д.т.н А.И. Болдырев





УДК 629.3.023.27.001.63:004.42
DOI: 10.12737/22579

О.В. Мушкин, аспирант,
Н.Д. Николаева, аспирант,
В.М. Труханов, д.т.н.
(Волгоградский государственный технический университет)
E-mail: app@vstu.ru

Наукоёмкая технология горизонтирования и вывешивания платформ

Для оптимизации системы горизонтирования и вывешивания платформ различных машин разработана программа расчета основных параметров горизонтирования: скорость втягивания аутригеров и ширина зоны нечувствительности порогового элемента. Данная программа выполнена на основе созданного алгоритма по расчету заданных параметров платформы.

Ключевые слова: горизонтирование; вывешивание; аутригер; скорость втягивания; зона нечувствительности; статическая точность; быстродействие.

O.V. Mushkin, Post graduate student,
N.D. Nikolayeva, Post graduate student,
V.M. Trukhanov, D.Eng.
(Volgograd State Technical University)

High technology in platforms leveling and weighing

For the optimization of a leveling and weighing system of different machines there is developed a program for the basic parameters computation of leveling: a speed of outriggers retraction and a width of an insensibility area of a threshold element. This program is carried out on the basis of the algorithm created according to the computation specified parameters of a platform.

Keywords: leveling; weighing; outrigger; retraction speed; insensibility area; static accuracy; performance.

В настоящее время существует большое количество различных машин имеющих платформу с выносными аутригерами. Можно выделить две группы таких машин:

1) строительные машины: автокраны, краны-манипуляторы и самоходные грузоподъемные краны на пневмоходу; сваезавинчивающие и

бурильные машины; автовышки; 2) военная техника: тактические баллистические ракетные комплексы; реактивные системы залпового огня; зенитно-ракетные комплексы; радиолокационные комплексы и средства РЭБ России [1].

При этом очень часто возникает необходи-

мость вывешивания и горизонтирования платформы таких машин. При построении систем вывешивания и горизонтирования могут использоваться различные подходы.

Измерение отклонения платформы от горизонтального положения может производиться визуально (при помощи отвеса или пузырькового уровня), либо при помощи системы определения ориентации в пространстве (СОИ), которая, в свою очередь, может являться частью более сложной бортовой информационно-навигационной системы.

Для осуществления горизонтирования в принципе могут использоваться различные приводы, но чаще всего это приводы гидравлические. Управление приводами в процессе горизонтирования может осуществляться как вручную с визуальным контролем, так и автоматически с использованием информации от СОИ. Автоматический вариант может быть значительно более точным и быстрым, обеспечивающим коррекцию положения в ходе использования платформы, однако, для этого требуется значительно более сложная и дорогая система управления, использующая эффективные алгоритмы горизонтирования [2].

В настоящее время устройства автоматического горизонтирования платформ машин отсутствуют. Для сокращения времени разработки и повышения качества таких устройств необходима система автоматизации проектирования (САПР) параметров системы горизонтирования и вывешивания платформы машины.

При разработке системы вывешивания и горизонтирования возникает проблема синтеза ее оптимальных параметров. Такие проблемы невозможно решать без применения вычислительной техники, так как оптимизация параметров устройства управления является сложным вычислительным процессом. Внедрение САПР в машиностроительной отрасли позволяет существенно облегчить поиск оптимальных технических решений.

Целью данной работы является разработка САПР параметров системы вывешивания и горизонтирования машин с выносными аутригерами.

Для выполнения поставленной задачи разработан алгоритм расчета основных параметров горизонтирования (рис. 1), в котором указаны исходные параметры расчетов, получение результатов для оптимизации работы системы проектирования, а также создать зависимость между результатами расчетов и влияние их на процесс вывешивания и горизонтирования.

Данная программа создана в среде программирования Delphi и основана на расчете домкратов – основных элементов системы горизонтирования и вывешивания, поэтому оптимизация вывешивания и горизонтирования является дополнением к основным расчетам домкратов на прочность, устойчивость, износостойкость и надежность [3].

Оптимизация параметров вывешивания платформы состоит в том, что необходимо вычислить скорость втягивания аутригеров $v_{\text{втяг}}$, ширину зоны нечувствительности порогового элемента $\Delta\alpha$. Для вычисления основных параметров горизонтирования платформы также необходимы исходные данные платформы и параметры установки управления. Далее показаны основные «окна» для оптимизации расчетов системы горизонтирования и вывешивания.

На главном окне (рис. 2) располагаются три основных поля: ввод оптимизируемых параметров, ввод исходных данных, на котором есть переходы на дополнительные окна, в следующем поле показываются результаты расчетов после нажатия кнопки «Выполнить расчет». Также в данной вкладке можно вывести в отдельном окне график зависимости целевой функции, нажав соответствующую кнопку, и сбросить данные для нового расчета

Окно «Параметры платформы» (рис. 3) представляет собой базовое изображение горизонтируемой платформы с выдвинутыми аутригерами, а также исходные данные платформы для дальнейшего расчета параметров.

Для ввода следующих исходных данных необходимо нажать кнопку «Параметры устройства управления» и откроется следующее окно (рис. 4) с одноименным названием. В нем необходимо ввести точность установки и время запаздывания гидропривода для необходимого расчета основных параметров.

Следующее дополнительное окно (рис. 5) выводит график зависимости статической точности от скорости втягивания $v_{\text{втяг}}$.

Данная система автоматизированного проектирования позволяет обеспечить точный подбор аутригеров и домкратов для оптимального процесса вывешивания и горизонтирования платформ любых видов машин. Программа позволяет также сократить время проектирования таких сложных и ответственных систем. Данной программой может пользоваться как студент в учебных целях, так и опытный проектировщик в конструкторском бюро, она проста в использовании и эффективна на примере выполненных расчетов.

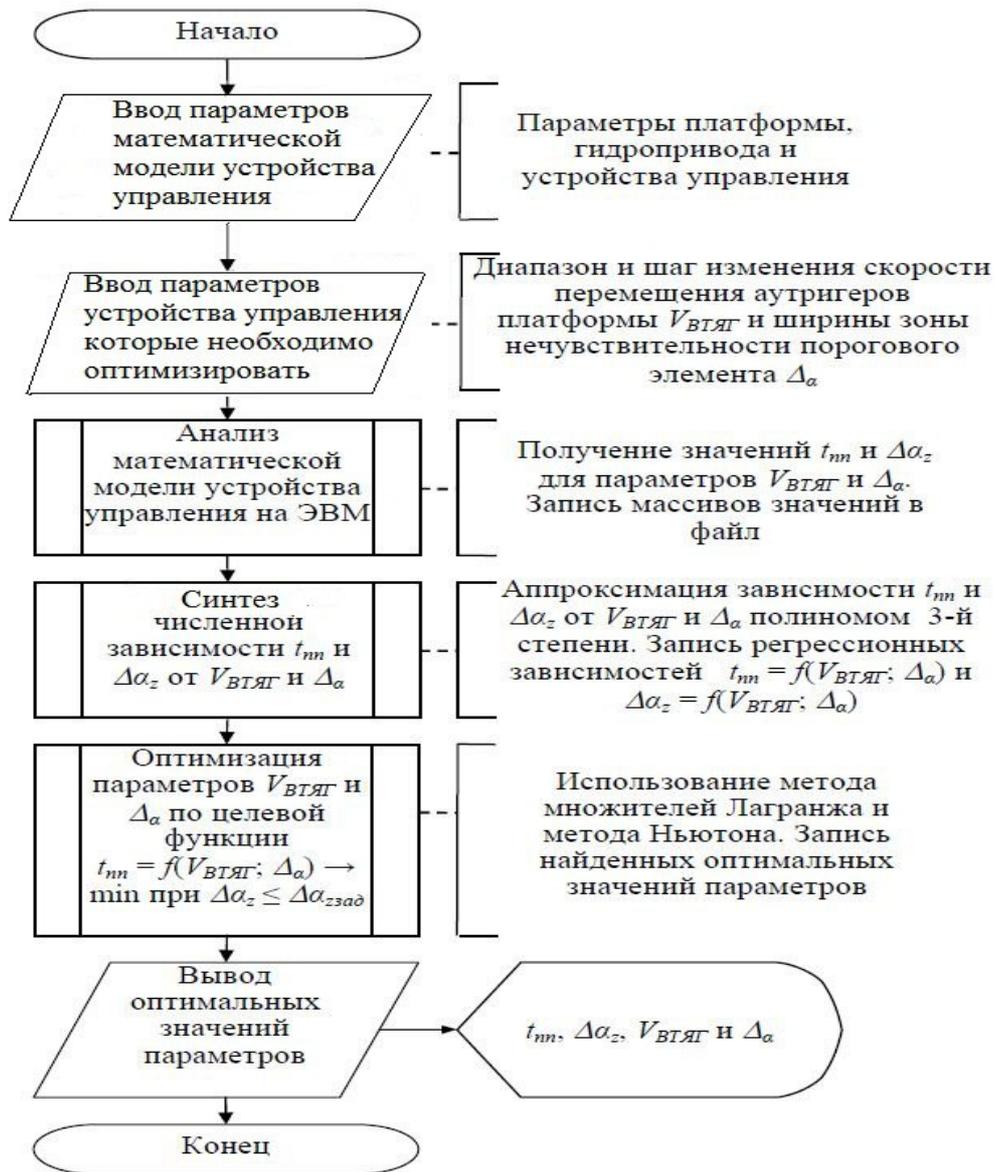


Рис. 1. Алгоритм расчета параметров горизонтирования платформы

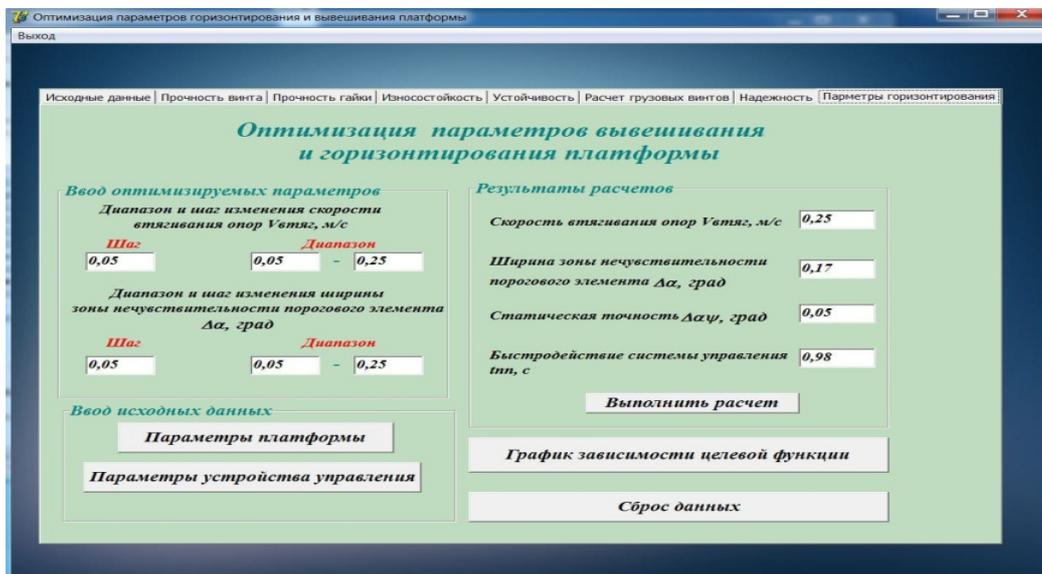


Рис. 2. Главное окно расчетов параметров горизонтирования и вывешивания платформы

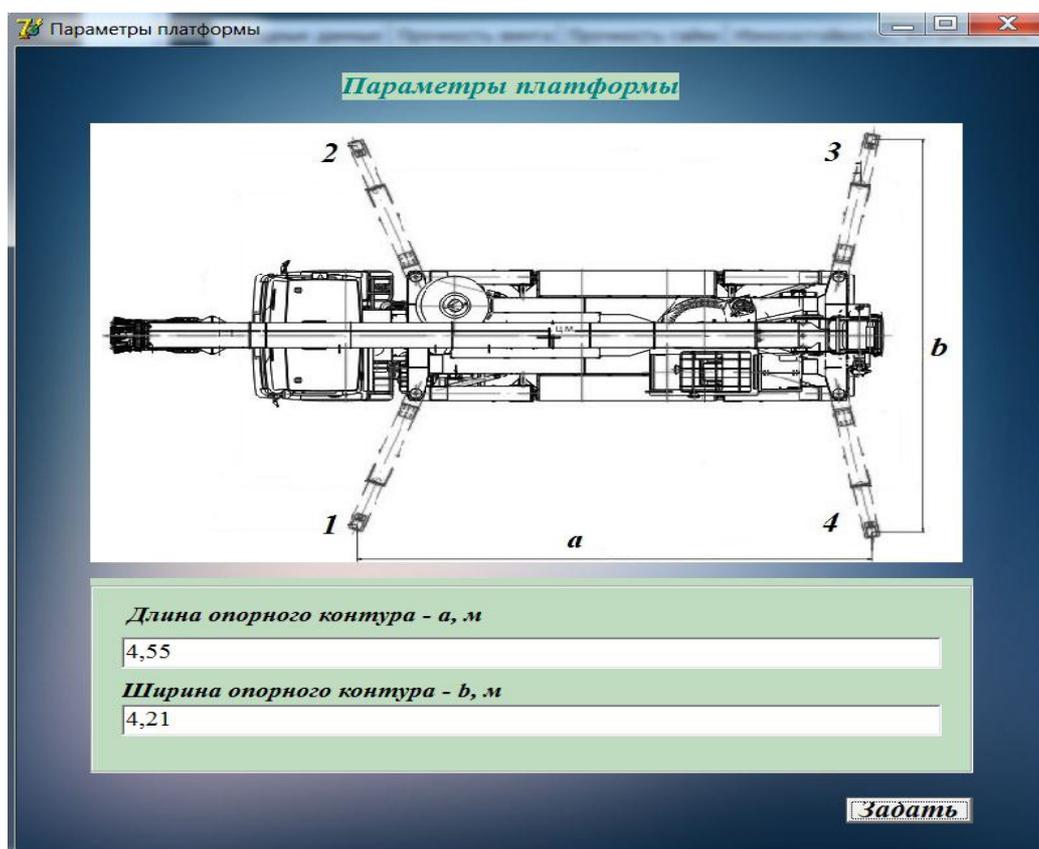


Рис. 3. Дополнительное окно «Параметры платформы»

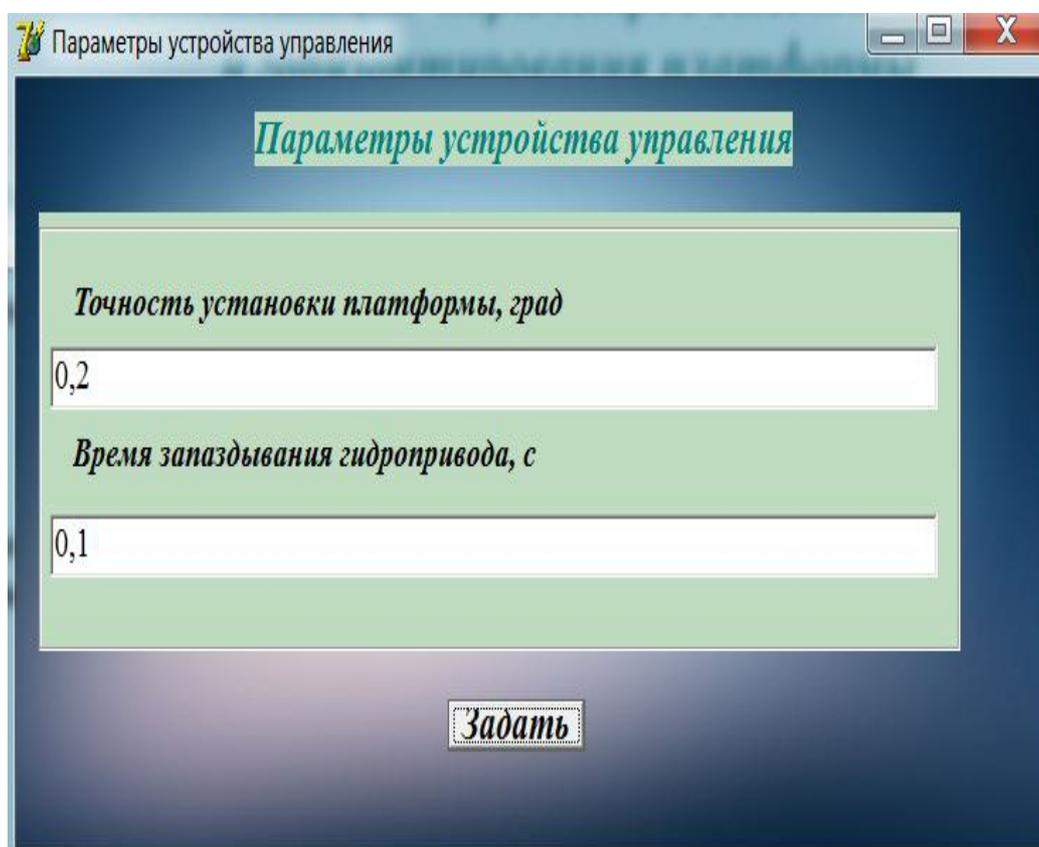


Рис. 4. Дополнительное окно «Параметры устройства управления»

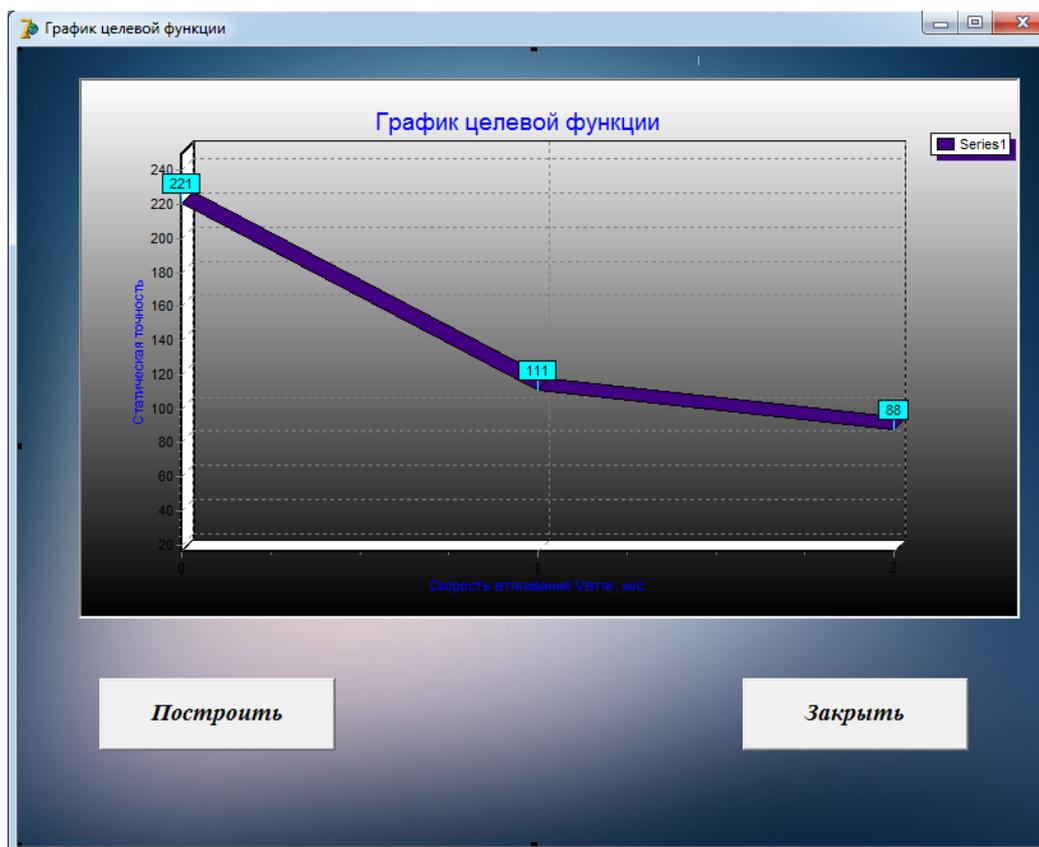


Рис. 5. Дополнительное окно «График зависимости целевой функции»

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Беляев, В.В.** Основы оптимизационного синтеза при проектировании землеройно-транспортных машин; 2-е изд., перераб. и доп. – Омск: ОТИИ, 2006. – 143 с.
2. **Автоматизация** проектирования устройств управления положением платформы строительной платформы / В.С. Щербаков, М.С. Корытов, М.Г. Григорьев. – Омск: СибАДИ, 2011. – 118 с.
3. **Труханов, В.М.** Надежность и испытания систем вооружения. – М.: Машиностроение, 2009. – 520 с.
4. **Пантелеев, А.В., Легова, Т.А.** Методы оптимизации в примерах и задачах: учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 2005. – 544 с.
5. **Труханов, В.М.** Новый подход к обеспечению надежности сложных систем. – М.: Машиностроение, 2010. – 246 с.

REFERENCES

1. Belyaev, V.V. Fundamentals of Optimization Synthesis at Designing Earth-Moving Machines; 2-d Ed., revised and supplemented. – Omsk: OTII, 2006. – pp. 143.
2. Automation of Devices Design for Control of Construction Platform Position / V.S. Shcherbakov, M.S. Korytov, M.G. Grigoriev. – Omsk: SibADI, 2011. – pp. 118.
3. Trukhanov, V.M. Reliability and Tests of Armament Systems. – M.: Mechanical Engineering, 2009. – pp. 520.
4. Panteleev, A.V., Letova, T.A. Methods of Optimization in Examples and Tasks: Textbook. – M.: Higher School, 2005. – pp. 544.
5. Trukhanov, V.M. New Approach to Complex Systems Reliability Support. – M.: Mechanical Engineering, 2010. – pp. 246.

Рецензент д.т.н. Б.М. Базров

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Брянский государственный технический университет"
 Адрес издателя и редакции: 241035, Брянская область, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7
 ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»
 Телефон редакции журнала: 8-903-592-87-39. E-mail: naukatm@yandex.ru
 Вёрстка А.А. Алисов. Технический редактор А.А. Алисов. Корректор Н.В. Дюбокова.
 Сдано в набор 10.10.2016. Дата выхода в свет 30.11.2016.
 Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88.
 Тираж 500 экз. Свободная цена.
 Отпечатано в лаборатории оперативной полиграфии
 ФГБОУ ВО "Брянский государственный технический университет"
 241035, Брянская область, г. Брянск, ул. Институтская, 16

12+