

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№1 2019

Направления:

01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА

02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

**05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И
МАШИНОВЕДЕНИЕ**

**05.11.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ,
МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ
ПРИБОРЫ**

**05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

Казань

2019

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №1 2019г. – Казань:
ООО «Научно-технический вестник Поволжья», 2019. – 138 с.

ISSN 2079-5920

Журнал зарегистрирован в Управлении Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Журнал размещен в открытом бесплатном доступе на сайте www.ntvr.ru, и в Научной электронной библиотеке (участвует в программе по формированию РИНЦ).

Журнал включен ВАК РФ в перечень научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» № 12025.

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

С.В. Анаников – д.т.н., проф.; Т.Р. Дебердеев – д.т.н., проф.; Б.Н. Иванов – д.т.н., проф.;
В.А. Жихарев – д.ф.-м.н., проф.; В.С. Минкин – д.х.н., проф.; А.Н. Николаев – д.т.н., проф.;
В.К. Половняк – д.х.н., проф.; П.П. Суханов – д.х.н., проф.; В.Ф. Тарасов – д.ф.-м.н., проф.;
Х.Э. Харлампиди – д.х.н., проф.

В журнале отражены материалы по теории и практике технических, физико-математических и химических наук.

Материалы журнала будут полезны преподавателям, научным работникам, специалистам научных предприятий, организаций и учреждений, а также аспирантам, магистрантам и студентам.

УДК 60

ББК 30-1

ISSN 2079-5920

© Научно-технический вестник Поволжья, 2019 г.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>К.Г. Николаев, Б.Н. Иванов, Э.Р. Магдеев, Р.Х. Шагимуллин, В.С. Минкин</i>	
ХИМИЧЕСКИЙ И ФИЗИЧЕСКИЙ РЕЗОНАНС В ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ И ТЕХНОЛОГИЯХ СООБЩЕНИЕ 1. ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ	8

01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА

<i>М.М. Сорокина</i>	О СУЩЕСТВОВАНИИ $\mathcal{F}\Omega$ -ПРОЕКТОРОВ В КОНЕЧНЫХ ГРУППАХ	12
<i>Е.В. Спиридонова, Н.А. Гамова, Н.В. Кулиш, И.П. Томина</i>	ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ УЧАСТКОВ РАЗВИТИЯ И СТАГНАЦИИ ПЛОСКИХ ТРЕЩИН В СМЕШАННОЙ ПОСТАНОВКЕ	15
<i>В.Г. Шармин, Д.В. Шармин, Е.А. Дмитриева</i>	СТРОЕНИЕ МНОЖЕСТВА АКСИАЛЬНЫХ ТОЧЕК ПОВЕРХНОСТИ БЕЗ КРУЧЕНИЯ	19
<i>А.Г. Шляхова, А.Т. Шляхов, Л.А. Гайнуллова</i>	МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ В ЦЕНТРАЛЬНО - СИММЕТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ	21

02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Г.Е. Бордина, Н.П. Лопина, Е.Г. Некрасова, Е.В. Ожимкова, А.Е. Соболев</i>	ИК-СПЕКТРОСКОПИЯ ЭФИРНЫХ МАСЕЛ	26
<i>Н.Я. Есина, М.Н. Курасова, О.И. Андреева, М.В. Тачаев, И.И. Кожухова, Ци Шэнхуа, А.А. Годзишевская, Е.С. Митрофанова</i>	КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ Cu(II) , Ni(II) , Rh(III) И Ir(IV) С ГИСТИДИНОМ	29
<i>В.В. Семченко, Е.А. Зеленская, Н.П. Шабельская, А.С. Деева, А.И. Мушорянов</i>	СИНТЕЗ И ФАЗООБРАЗОВАНИЕ В СИСТЕМЕ $\text{V} - \text{Al} - \text{O}$	33
<i>Е.А. Смирнова</i>	РАСТВОР ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ТРАВЛЕНИЯ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ	37

05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

<i>А.Н. Болотов, О.О. Новикова, В.В. Новиков</i>	ЭФФЕКТ ПЛАСТИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ СМАЗАННОЙ МАГНИТНЫМ МАСЛОМ	40
<i>А.П. Буйносов, С.И. Лантев</i>	СПОСОБ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ЛОКОМОТИВОВ	43
<i>Л.В. Быков, О.А. Паилов</i>	ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕЧЕНИЯ ЗА СПУСКАЕМЫМ КОСМИЧЕСКИМ АППАРАТОМ СЕГМЕНТАЛЬНО-КОНИЧЕСКОЙ ФОРМЫ	47
<i>Т.Н. Иванова</i>	ТЕПЛОАПРЯЖЕННОСТЬ АБРАЗИВНОГО ЗЕРНА ПРИ ОДНОПРОХОДНОМ И МНОГОПРОХОДНОМ ШЛИФОВАНИИ	51
<i>Н.В. Козулько, К.В. Семиниченко</i>	ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ (ПКМ)	55
<i>В.С. Наговицын, А.П. Буйносов, С.Н. Антропов</i>	ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ УЗЛОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА С УЧЕТОМ МИНИМУМА ЗАТРАТ ПРИ УСЛОВИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБУЕМОГО УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ	59
<i>А.Л. Яблонев, А.М. Гусева</i>	О КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СВЯЗИ ПЛОТНОСТИ И ПРОЧНОСТИ НА ИЗГИБ КУСКОВОГО ТОРФА, ПОЛУЧАЕМОГО В ПРОЦЕССЕ ФОРМОВАНИЯ ШНЕКОВЫМ ПРЕССОМ	62

**05.11.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ**

<i>Н.А. Абышев, А.В. Ключников</i> К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ТОЧНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СТЕНДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЦИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, РЕАЛИЗУЮЩЕГО МЕТОД АСТАТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА	66
<i>М.Е. Калинин, А.С. Козлов, Р.Я. Лабковская, О.И. Пирожникова, В.Л. Ткалич, Н.А. Шмаков</i> РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ	69
<i>М.Е. Калинин, А.Г. Коробейников, Д.И. Медведков, О.И. Пирожникова, В.Л. Ткалич, Н.А. Шмаков</i> РАЗРАБОТКА БИБЛИОТЕКИ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ	72
<i>М.Е. Калинин, А.Г. Коробейников, Н.Ю. Коновалов, О.И. Пирожникова, В.Л. Ткалич, Н.А. Шмаков</i> ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ И ТЕМПЕРАТУРНОГО ФАКТОРА НА ДЕФОРМИРОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ	78
<i>М.Е. Калинин, А.Г. Коробейников, Р.Я. Лабковская, О.И. Пирожникова, В.Л. Ткалич, Н.А. Шмаков</i> АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ С ТЕРМОСТАБИЛЬНЫМ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ	81
<i>С.С. Капитонов, С.Ю. Прытков, С.Ю. Григорович, А.В. Капитонова, С.А. Медведев, Н.П. Слугина</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЦВЕТОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ В ПРОЦЕССЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ	84
<i>Ю.И. Шакиров, Р.Г. Садыков, А.А. Хафизов, Р.И. Валиев</i> РЕЖИМЫ РАБОТЫ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	88

**05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ
ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

<i>А.В. Алабин, М.А. Свищева</i> ПРЕИМУЩЕСТВА СОЗДАНИЯ ПРОЕКТА РЕКОНСТРУКЦИИ, МОДЕРНИЗАЦИИ И ДЕМОНТАЖА ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ BIM ТЕХНОЛОГИЙ	92
<i>Д.А. Безуглов, В.В. Воронин, С.Е. Мищенко, В.И. Юхнов</i> АЛГОРИТМ ВЫДЕЛЕНИЯ КОНТУРОВ НА ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ, ИСКАЖЕННЫХ ИМПУЛЬСНЫМИ ШУМАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЛАЙН-АППРОКСИМАЦИИ	97
<i>А.А. Кротких, П.В. Максимов</i> РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ LEVEL-SET МЕТОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДАПТИВНОГО МЕТОДА ШТРАФНОЙ ФУНКЦИИ	103
<i>О.Н. Кузина</i> ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОИМОСТИ ОБЪЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА НА КАЖДОМ ЭТАПЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА	107
<i>А.Д. Курзанов, М.А. Фомина</i> МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОГО ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ НЕАВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА	112
<i>С.Л. Леванов, Г.Н. Власичев</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ РАСЧЕТНЫХ КОДОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК ТОЛЕРАНТНОГО ТОПЛИВА В РЕАКТОРАХ ВВЭР-1000	116
<i>П.В. Максимов, А.А. Кротких</i> ВВЕДЕНИЕ КРИТЕРИЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РЕШЕНИЯ, ПОЛУЧЕННОГО АЛГОРИТМОМ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ НА БАЗЕ LEVEL-SET МЕТОДА	119

<i>В.В. Назарова, Л.А. Надточий, В.А. Демченко, А.Д. Апалько, О.Л. Жданова</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫРАЩИВАНИЯ САЛАТА (<i>LACTUCA SATIVA L</i>) ГИДРОПОННЫМ МЕТОДОМ	122
<i>Н.А. Пиеничникова, Н.В. Пешков, В.А. Ильиных</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КУМУЛЯТИВНЫХ СУММ ПРИ ОЦЕНКЕ ПОГРЕШНОСТИ ФОРМЫ ПРОФИЛЬНЫХ ВАЛОВ	126
АННОТАЦИИ	129

THE RELEASE MAINTENANCE

- K.G. Nikolaev, B.N. Ivanov, E.R. Magdeev, R.H. Shagimullin, V.S. Minkin* CHEMICAL AND PHYSICAL RESONANCE IN CHEMICAL PROCESSES AND TECHNOLOGIES MESSAGE 1. FEATURES AND PERSPECTIVES OF APPLICATION 8

01.01.00 — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — MATHEMATICS

- M.M. Sorokina* ON EXISTENCE OF \mathcal{FQ} -PROJECTORS IN FINITE GROUPS 12
- E.V. Spiridonova, N.A. Gamova, N.V. Kulish, I.P. Tomina* THE PRINCIPLE OF CONSTRUCTION OF AREAS OF DEVELOPMENT AND STAGNATION OF FLAT CRACKS IN THE MIXED STATEMENT 15
- V.G. Sharmin, D.V. Sharmin, E.A. Dmitrieva* THE STRUCTURE OF THE SET OF AXIAL POINTS OF THE SURFACE WITHOUT TORSION 19
- A.G. Shlyakhova, A.T. Shlyakhov, L.A. Gainulova* MATHEMATICAL MODELING OF MOTION IN A CENTRALLY SYMMETRIC FIELD 21

02.00.00 — CHEMICAL SCIENCES

- G.E. Bordina, N.P. Lopina, E.G. Nekrasova, E.V. Ojimkova, A.E. Sobolev* IR-SPECTROSCOPY OF ESSENTIAL OILS 26
- N.Y. Esina, M.N. Kurasova, O.I. Andreeva, M.V. Tachaev, I.I. Kozhuhova, Tci Shenhua, A.A. Godzishhevskaya, E.S. Mitrofanova* COMPLEX COMPOUNDS OF Cu(II), Ni(II), Rh(III) AND Ir(IV) WITH HISTIDINE 29
- V.V. Semchenko, E.A. Zelenskaya, N.P. Shabel'skaya, A.S. Deeva, A.I. Mushoryapov* SYNTHESIS AND PHASE FORMATION IN THE SYSTEM V – Al – O 33
- E.A. Smirnova* SOLUTION FOR SELECTIVE ETCHING STAINLESS STEEL 37

05.02.00 — TECHNICAL SCIENCES — MECHANICAL ENGINEERING AND ENGINEERING SCIENCE

- A.N. Bolotov, O.O. Novikova, V.V. Novikov* THE EFFECT OF PLASTICIZATION OF THE SURFACE OF THE LUBRICATED MAGNETIC OIL 40
- A.P. Buinosov, S.I. Laptev* METHOD OF ESTIMATION OF RELIABILITY OF RESULTS AT CARRYING OUT TECHNICAL DIAGNOSTICS OF LOCOMOTIVES 43
- L.V. Bykov, O.A. Pashkov* STUDY OF THE PARAMETERS OF THE FLOW FOR THE DOWNLOADED SPACE EQUIPMENT SEGMENTAL-CONICAL FORM 47
- T.N. Ivanova* THE HEAT RELEASE RATE OF THE ABRASIVE GRAIN DURING SINGLE-PASS AND MULTI-PASS GRINDING 51
- N.V. Kozulko, K.V. Seminichenko* RESEARCH OF PROCESS OF FINAL ABRASIVE PROCESSING OF DETAILS FROM THE POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS (PCM) 55
- V.S. Nagovitsyn, A.P. Buinosov, S.N. Antropov* THE CHOICE OF TECHNOLOGY FOR RESTORATION OF KNOTS OF ROLLING STOCK TAKING INTO ACCOUNT THE MINIMUM COST WHILE ENSURING THE REQUIRED LEVEL OF RELIABILITY 59
- A.L. Yablonev, A.M. Guseva* ON THE CORRELATION OF DENSITY AND FLEXURAL STRENGTH SOD PEAT OBTAINED IN THE PROCESS OF SCREW PRESS FORMATION 62

05.11.00 — TECHNICAL SCIENCES — INSTRUMENTATION, METROLOGY AND INFORMATION-MEASURING DEVICES

- N.A. Aбышев, A.V. Klyuchnikov* TO THE ISSUE ABOUT ESTIMATION OF FUNCTIONAL PRECISION OF A STAND, WHICH IS INTENDED FOR DEFINITION

THE MASS-INERTIA CHARACTERISTICS OF FLYING VEHICLES BY THE ASTATIC PENDULUM METHOD	66
<i>M.E. Kalinkina, A.S. Kozlov, R.Ya. Labkovskaya, O.I. Pirozhnikova, V.L. Tkalich, N.A. Shmakov</i> DEVELOPMENT OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE SENSITIVE ELEMENT OF THE PRESSURE SENSOR	69
<i>M.E. Kalinkina, A.G. Korobeynikov, D.I. Medvedkov, O.I. Pirozhnikova, V.L. Tkalich, N.A. Shmakov</i> DEVELOPMENT OF LIBRARY OF FINAL ELEMENTS FOR CREATING AUTOMATED DESIGN SYSTEMS OF SENSITIVE ELEMENTS OF MICROMECHANICAL DEVICES	72
<i>M.E. Kalinkina, A.G. Korobeynikov, N.Yu. Konovalov, O.I. Pirozhnikova, V.L. Tkalich, N.A. Shmakov</i> EFFECT OF ELECTROSTATIC IMPACTS AND TEMPERATURE FACTOR ON DEFORMATION OF THE SENSITIVE ELEMENT OF MICROMECHANICAL DEVICES	78
<i>M.E. Kalinkina, A.G. Korobeynikov, R.Ya. Labkovskaya, O.I. Pirozhnikova, V.L. Tkalich, N.A. Shmakov</i> ANALYSIS OF THE PARAMETERS OF INTEGRAL PRESSURE SENSORS WITH A THERMOSTABLE SENSITIVE ELEMENT	81
<i>S.S. Kapitonov, S.V. Prytkov, S.Yu. Grigorovich, A.V. Kapitonova, S.A. Medvedev, N.P. Slugina</i> RESEARCH OF CHANGE OF COLOR TEMPERATURE AND EMISSION SPECTRUM OF LED LUMINAIRES IN THE COURSE OF THEIR OPERATION	84
<i>Yu.I. Shakirov, R.G. Sadykov, A.A. Khafizov, R.I. Valiev</i> OPERATION MODES OF POWER SUPPLY SYSTEMS OF OBJECTS OF OIL AND GAS FIELDS	88

05.13.00 — TECHNICAL SCIENCES — COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

<i>A.V. Alabin, M.A. Svishcheva</i> ADVANTAGES OF FACILITIES' RECONSTRUCTION, MODERNIZATION AND DISMANTLING PROJECT CREATION USING BIM TECHNOLOGIES	92
<i>D.A. Bezuglov, V.V. Voronin, S.E. Mishchenko, V.I. Yukhnov</i> THE ALGORITHM OF ALLOCATION OF CONTOURS ON THE TV IMAGES DISTORTED BY IMPULSE NOISE USING SPLINE APPROXIMATION	97
<i>A.A. Krotkikh, P.V. Maksimov</i> DEVELOPMENT OF TOPOLOGY OPTIMIZATION ALGORITHM BASE ON LEVEL-SET METHOD WITH USING ADAPTIVE SELECTION OF PENALTY FUNCTION PARAMETERS	103
<i>O.N. Kuzina</i> INFORMATION MODELING OF CONSTRUCTION OBJECT COST AT EACH STAGE OF LIFECYCLE	107
<i>A.D. Kurzanov, M.A. Fomina</i> QUALITY COMPLEX ESTIMATION MODEL OF NON- AUTOCLAVED AERATED CONCRETE STRUCTURE FORMATION PROCESS	112
<i>S.L. Levanov, G.N. Vlasichev</i> USING NUCLEAR CALCULATION CODES FOR OPTIMIZATION TOLERANT FUEL CHARACTERISTICS IN VVER-1000 REACTORS	116
<i>P.V. Maksimov, A.A. Krotkikh</i> CRITERIA INTRODUCTION FOR ESTIMATING THE QUALITY OF THE SOLUTION OF THE TOPOLOGICAL OPTIMIZATION ALGORITHM BASED ON LEVEL-SET METHOD	119
<i>V.V. Nazarova, L.A. Nadtochiy, V.A. Demchenko, A.D. Opalko, O.L. Zhdanova</i> OPTIMIZATION OF PROCESS OF CULTIVATION OF LETTUCE (<i>LACTUCA SATIVA L</i>) HYDROPONIC METHOD	122
<i>N.A. Pshenichnikova, N.V. Peshkov, V.A. Ilinykh</i> APPLICATION OF THE METHOD OF CUMULATIVE SUMS IN THE EVALUATION OF FORM ERROR PROFILE SHAFTS	126

ABSTRACTS

129

05.02.08

Т.Н. Иванова д-р техн. наук

Чайковский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Чайковский,
Институт механики ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН»,
Ижевск, tatnic2013@yandex.ru

ТЕПЛОНАПРЯЖЕННОСТЬ АБРАЗИВНОГО ЗЕРНА ПРИ ОДНОПРОХОДНОМ И МНОГОПРОХОДНОМ ШЛИФОВАНИИ

Исследованы стойкость абразивного инструмента, скорость изменения температуры, градиенты скоростей термических процессов при однопроходном и многопроходном шлифовании. Выявлено, что для многопроходного шлифования характерно разрушение зерен под действием высоких температур и напряжений. При однопроходном шлифовании износ зерен происходит под действием микрорезания. Уменьшение температуры, возникающей в зерне, за 1 оборот шлифовального круга возможно при увеличении теплофизических параметров абразивного слоя. При многопроходном шлифовании максимальные значения температуры зерна и глубины ее распространения выше, чем при однопроходном. Увеличение скорости нагрева зерна зависит от увеличения плотности теплового потока, уменьшения роста тепловой активности зерна, обрабатываемой детали и времени нагревания. При удалении точки от поверхности зерна скорость нагревания уменьшается, и смещение максимума происходит в сторону увеличения времени.

Ключевые слова: *многопроходное шлифование, однопроходное шлифование, износ зерен, стойкость абразивного инструмента, температура в зоне резания, скорость нагревания.*

При сравнении стойкости абразивного инструмента при многопроходном и однопроходном шлифовании, стойкость инструмента значительно выше у последнего метода. Это связано с тем, что при однопроходном шлифовании обрабатываются канавки, пазы и другие фасонные поверхности, конструктивные особенности которых не приводят к значительным усилиям резания и высокой теплонапряженности в зоне контакта инструмента и детали. При многопроходном шлифовании абразивное зерно многократно нагревается в процессе резания и охлаждается при выходе из зоны резания [1 - 9]. Это снижает прочность удержания зерна в связке, твердость зерна, вызывает интенсификацию диффузионных и окислительных процессов, возникновение значительных температурных напряжений в самом зерне (рис. 1). При нагреве зерно в связке шлифовального круга стремится расширяться в направлении перпендикулярном к плоскости, в которой расположен вектор скорости резания, этому препятствуют нижележащие слои круга, которые испытывают сжимающие напряжения. После выхода зерна из зоны контакта, поверхностные слои круга сжимаются, но испытывая сопротивление нижних слоев, оказываются под действием растягивающих напряжений.

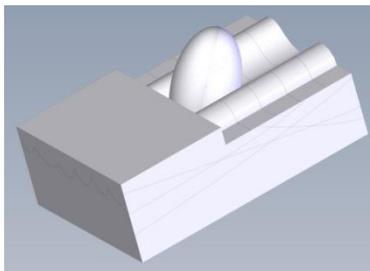


Рис. 1. Модель абразивного зерна

Температура, возникающая в зерне, за 1 оборот шлифовального круга может быть определена [1 -3]:

$$T_2(x,t) = \frac{1}{1+K} \cdot \frac{2q}{\sqrt{c_2 \lambda_2 \rho_2}} \cdot \left[\sqrt{t} \cdot \operatorname{ierfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{a_2 t}} \right) - \sqrt{t-t_0} \cdot \operatorname{ierfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{a_2 (t-t_0)}} \right) - \frac{\alpha_T a_2}{2\lambda_2} \int_{t_0}^t \exp \left(\frac{\alpha_T^2}{\lambda_2^2 a_2 (t-t_0)} + \frac{\alpha}{\lambda_2} x \right) \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{a_2 (t-t_0)}} + \frac{\alpha_T}{\lambda_2} \sqrt{a_2 (t-t_0)} \right) d(t-t_0) \right] \quad (1)$$

где α_T - коэффициент теплообмена, λ_2 - коэффициент теплопроводности зерна, ρ_2 - плотность зерна, a_2 - коэффициент теплопроводности абразивного зерна, x - глубина распространения температуры по зерну шлифовального круга, c_2 - коэффициент теплоемкости, t - температура в любой точке зерна при шлифовании, $t-t_0$ - охлаждение зерна, при выходе из зоны контакта, t_0 - время прекращения резания зерна, $K = \sqrt{\lambda_1 c_1 \rho_1} / (\lambda_2 c_2 \rho_2)$ - коэффициент, характеризующий активность обрабатываемого материала детали (индекс 1) к абразивному зерну (индекс 2), q - плотность теплового потока.

Первая часть выражения (1) описывает процесс распространения тепла при резании зерна за время t , вторая часть – охлаждение зерна при выходе из зоны резания за время $t-t_0$.

Температура в зоне контакта по выражению (1) при шлифовании твердосплавных пластин Т15К6 размером 70x30x40 кругом диаметром $D_{кр} = 0,15$ мм, маркой АС6 МО4 120/100 4 с теплофизическими параметрами: материал $\lambda_1 = 27,3$ Дж/м·с·град, $a_1 = 10^{-5}$ м²/с, $c_1 \rho_1 = 1,1$ Дж/м³·град, зерно круга $\lambda_2 = 146$ Дж/м·с·град, $a_2 = 8 \cdot 10^{-5}$ м²/с, $c_2 \rho_2 = 1,5$ Дж/м³·град на режимах: для многопроходного шлифования - скорость круга $v_{кр} = 30$ м/с, глубина шлифования $t_{зл} = 2 \cdot 10^{-5}$ м, продольная подача $S_{пр} = 1,5$ м/мин; для однопроходного - $v_{кр} = 30$ м/с, $t_{зл} = 1 \cdot 10^{-3}$ м, $S_{пр} = 0,5$ м/мин при плотности теплового потока $q = 1,5 \cdot 10^5$ Вт/м² представлена графически (рис. 2).

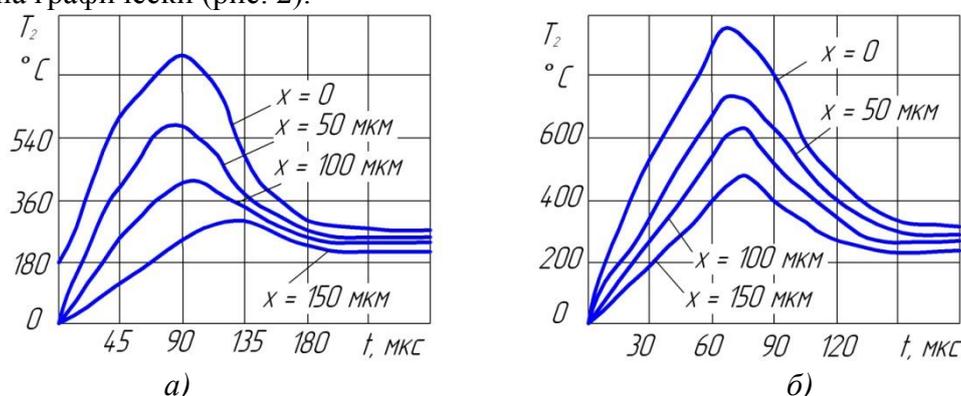


Рис. 2- Характер распределения температуры T_2 на зерне в зависимости от времени t при глубине распространения x однопроходное (а), многопроходное шлифование (б)

Анализ результатов (рис. 2) показывает, что с увеличением теплофизических параметров абразивного слоя температура в зоне резания уменьшается. При многопроходном шлифовании максимальные значения температуры и глубины ее распространения выше, чем при однопроходном. Наблюдается различие во времени действия температуры на зерно, которое ниже при однопроходном шлифовании.

При отсутствии принудительного охлаждения зерна после выхода его из зоны резания скорость изменения температуры выражается производной выражения (1) по времени:

$$\frac{\partial T_2(x,t)}{\partial t} = \frac{q}{(1+K)\sqrt{\pi c_2 \lambda_2 \rho_2}} \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{t}} \exp \left(-\frac{x^2}{4a_2 t} \right) - \frac{1}{\sqrt{t-t_0}} \exp \left(-\frac{x^2}{4a_2 (t-t_0)} \right) \right] \quad (2)$$

где $T_2(x,t)$ - температура внутри зерна.

Увеличение скорости нагрева зерна (2) зависит от увеличения плотности теплового потока, уменьшения роста тепловой активности зерна, обрабатываемой детали и времени

нагревания. При удалении точки от поверхности зерна скорость нагревания уменьшается, и смещение максимума происходит в сторону увеличения времени.

После выхода зерна из зоны резания начинается процесс охлаждения зерна и перераспределение тепла. Для охлаждения характерна высокая скорость перераспределения температуры и значительное снижение ее при удалении зерна от зоны резания. Результаты расчетов представлены на рис. 3.

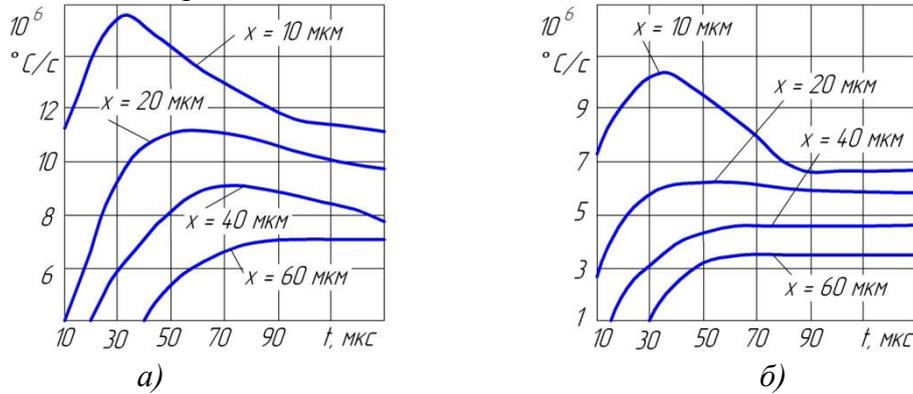


Рис. 3- Зависимость распределения скоростей термических процессов: многопроходное шлифование (а); однопроходное шлифование (б)

Производная выражения (2) по глубине распространения тепла x позволяет установить градиенты скоростей термических процессов

$$\frac{\partial^2 T_2(x,t)}{\partial t \partial x} = \frac{q \cdot x}{(1+K)2a_2\sqrt{\pi c_2 \lambda_2 \rho_2}} \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{(t-t_0)^3}} \exp\left(-\frac{x^2}{4a_2(t-t_0)}\right) - \frac{1}{\sqrt{t^3}} \exp\left(-\frac{x^2}{4a_2 t}\right) \right] \quad (3)$$

Расчет по выражению (5) представлен графически (рис. 4).

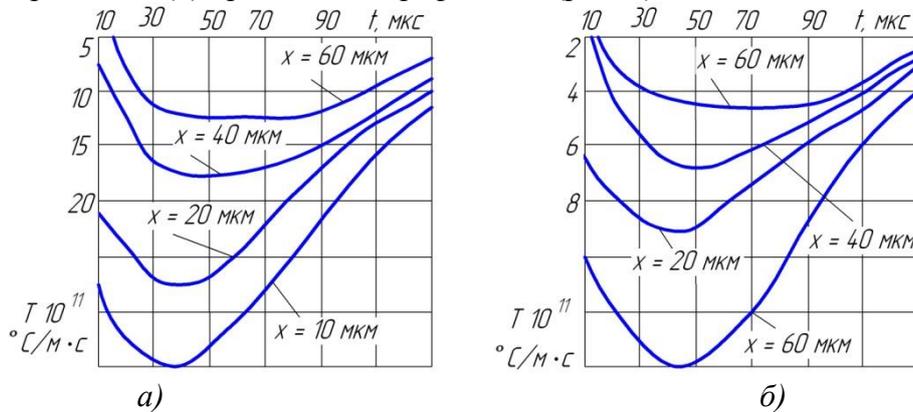


Рис. 4- Градиенты скоростей термических процессов: многопроходное шлифование (а); однопроходное шлифование (б)

Из сравнения графических зависимостей (рис. 3, 4) видно, что скорости нагрева одной и той же точки, например, при глубине $x = 40 \mu\text{m}$ равны для многопроходного шлифования $9 \cdot 10^6 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{c}$, при однопроходном $4 \cdot 10^6 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{c}$ и достигаются за одинаковое время. При этом градиенты скоростей соответственно $17 \cdot 10^{11} \text{ } ^\circ\text{C}/\text{m} \cdot \text{c}$ и $7 \cdot 10^{11} \text{ } ^\circ\text{C}/\text{m} \cdot \text{c}$. Однопроходное шлифование обеспечивает большую глубину прогрева зерна, меньшие скорости нагрева и градиенты скоростей. Это уменьшает вероятность аллотропных изменений в зернах и возникновения «тепловых» ударов зерен – растрескивания из-за больших перепадов температур. При многопроходном шлифовании из-за высокой теплонапряженности процесса зерна покрываются сеткой разветвленных микротрещин, создающих ячеистую структуру рабочей поверхности круга. При однопроходном шлифовании зерна не имеют резко выраженной сетки трещин, наблюдается формирование небольших контактных площадок, на которых видна сетка параллельных царапин, расположенных в направлении движения зерен круга. Износ зерен происходит поэтапно: вскрытие, абразивный износ микрорезания, разрушение под действием температуры. Для многопроходного шлифования характерно

разрушение зерен под действием высоких температур и напряжений. При однопроходном шлифовании износ зерен происходит под действием микрорезания. Наличие такого характера износа свидетельствует о том, что зерна выступают над связкой, прочно удерживаются в ней и менее нагружены, что позволяет интенсифицировать процесс за счет увеличения глубины резания. При увеличении скорости резания свыше 30 м/с круг при однопроходном шлифовании начнет работать в режиме затупления.

Анализ методов однопроходного и многопроходного шлифования на основе теплонапряженности абразивного зерна, показал, что при одинаковой производительности глубина врезания абразивных зерен при однопроходном шлифовании ниже, что обеспечивает более высокую размерную стойкость инструмента. При изучении теплового режима зерен получены закономерности температуры и скорости термических процессов, проведено сравнение методов шлифования, получена оценка стойкости зерен. Так, наибольшая температура развивается на вершине и прилегающей к ней части зерна и может достигать температуры аллотропных изменений. При смещении вершины зерна из зоны контакта наблюдаются изменения температурного поля и градиента скорости, они меняют направление. Этот участок становится наиболее склонным к излому и сколу по зерну.

Метод однопроходного шлифования обеспечивает наиболее благоприятный режим работы зерна. Анализ режима работы зерна на основе рассмотренных исследований показал, что температура на зерне зависит от теплофизических параметров обрабатываемого материала и шлифовального круга, режимов шлифования. Установлено, что интенсификация процесса однопроходного шлифования возможна за счет увеличения глубины шлифования с сохранением стойкости инструмента.

Список литературы

1. *Иванова Т.Н.* Конструкторско-технологические методы снижения теплонапряженности при шлифовании // Инженерно-физический журнал 2018 г. ноябрь–декабрь том 91, № 6, с. 1485 - 1490
2. Research on operation mode of abrasive grain during grinding T N Ivanova, V B Dement'ev , O V Nikitina / MEACS 2017 IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 327 (2018) 042045 doi:10.1088/1757-899X/327/4/042045
3. *Свитковский Ф.Ю.* Научные основы технологии глубинного шлифования деталей из труднообрабатываемых материалов. Ижевск: Ин-т технол. наук и проблем реструкт. в пром., 2003.
4. *Волков Д.И., Полетаев В.А.* Теоретическая модель напряженного состояния поверхностного слоя деталей при глубинном шлифовании. Вестн. Рыбинской гос. авиац. технол. академии им. П. А. Соловьева. 2009. № 1. С. 52–63.
5. *Носенко В.А., Авилов А.В.* Исследование глубинного шлифования стали 30ХГСН2. Изв. Волгоградского гос. техн. ун-та. 2004. № 9. С. 29–31.
6. *Zakharov O.V., Balaev A.F. and Kochetkov A.V.* Modeling Optimal Path of Touch Sensor of Coordinate Measuring Machine Based on Traveling Salesman Problem Solution. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 206, Pp. 1458-1463.
7. *Tyuhta A.V., Vasilenko Y.V., Kozlov A.M.* Ways to Enhance Environmental Flat Grinding by Improving the Technology of the Coolant Supply // *Procedia Engineering* 150 (2016) 1073 – 1080 doi: 10.1016/j.proeng.2016.07.217
8. *Aleksandr Kozlov, Evgenij Kiryuschenko and Andrej Kirichek* Technological system self-tuning when milling 01033 / MATEC Web of Conferences Volume 129 (2017) // International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017) - Sevastopol, Russia, September 11-15, 2017 - S. Bratan, S. Gorbatyuk, S. Leonov and S. Roshchupkin (Eds.) Published online: 07 November 2017 DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201712901033>
9. *Козлов А.А., Козлов А.М., Василенко Ю.В.* Моделирование обработанной поверхности при шлифовании некруговым торцовым абразивным инструментом / Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. 2016. Т. 16. № 3. С. 54-62.