

Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии

Учредитель – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»
(ФГБОУ ВПО «Государственный университет – УНПК»)

Редакционный совет:

Голеников В.А. д-р техн. наук,
проф., председатель
Радченко С.Ю. д-р техн. наук,
проф., зам. председателя
Борзенков М.И. канд. техн. наук, доц.,
секретарь
Астафьев П.А. д-р юрид. наук, проф.
Иванова Т.Н. д-р техн. наук, проф.
Киричек А.В. д-р техн. наук, проф.
Колчунов В.И. д-р техн. наук, проф.
Константинов И.С. д-р техн. наук, проф.
Новиков А.Н. д-р техн. наук, проф.
Попова Л.В. д-р экон. наук, проф.
Степанов Ю.С. д-р техн. наук, проф.

Редакция

Главный редактор

Степанов Ю.С. д-р техн. наук,
проф., заслуженный деятель науки
Российской Федерации

Заместители главного редактора:

Гордон В.А. д-р техн. наук, проф.
Киричек А.В. д-р техн. наук, проф.
Подмастерьев К.В. д-р техн. наук, проф.

Члены редколлегии:

Бабичев А.П. д-р техн. наук, проф.
Вдовин С.И. д-р техн. наук, проф.
Дмитриев А.М. д-р техн. наук, проф.,
член-кор. РАН
Емельянов С.Г. д-р техн. наук, проф.
Зубарев Ю.М. д-р техн. наук, проф.
Зубицкий В.Г. д-р физ.-мат. наук, проф.
Иванов Б.Р. д-р техн. наук, проф.
Колесников К.С. д-р техн. наук,
проф., академик РАН
Копылов Ю.Р. д-р техн. наук, проф.
Малинин В.Г. д-р физ.-мат. наук, проф.
Мулюкин О.П. д-р техн. наук, проф.
Осадчий В.Я. д-р техн. наук, проф.
Панин В.Е. д-р техн. наук, проф.,
академик РАН
Распопов В.Я. д-р техн. наук, проф.
Смоленцев В.П. д-р техн. наук, проф.

Ответственный за выпуск:

Морозова А.В. к.с.н.

Адрес редакции

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
(4862) 41-98-48, 41-98-03, 55-55-24,
43-48-90

www.gu-unpk.ru

E-mail: met_lit@ostu.ru

Зарег. в Федеральной службе по
надзору в сфере связи, информацион-
ных технологий и массовых коммуни-
каций. Свидетельство ПИ №
ФС77-47351 от 03 ноября 2011 года

Подписной индекс 29504
по объединенному каталогу «Пресса
России»

© Госуниверситет – УНПК, 2012

Содержание

Машиностроительные технологии и инструменты

Барзов А.А., Галиновский А.Л., Литвин Н.К., Хафизов М.В., Абашии М.И. Ультразвуковое микроуспензирование жидкостей и гидротехнологических сред.....	3
Блюментштейн В.Ю., Кречетов А.А., Махалов М.С. Современные конкурентоспособные технологии отделочно-упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием.....	9
Болдырев А.И. Технологические схемы и инструменты для комбинированной обработки внутренних поверхностей.....	16
Источкий В.В., Протасьев В.В. Обеспечение точности передних углов при изготовлении концевых цилиндрических фрез на шлифовально-заточных станках с ЧПУ.....	21
Коваль Н.С. Исследование параметров движения деталей, установленных в многоместное приспособление при виброударной обработке.....	24
Коровин А.А., Смоленцев В.П., Коптев И.Т. Электрохимическая обработка при изготовлении локальных теплообменных элементов.....	27
Крутеня Е.Ю., Лебедев В.А., Филичук О.С. Технологические предпосылки применения органических сред для вибрационной отделочной обработки деталей.....	33
Польский Е.А., Потапов Л.А., Новиков Д.В. Автоматизация проведения размерно-точностного анализа для повышения технологичности изделия при обработке на многоцелевом оборудовании.....	37
Смоленцев Е.В. Проектирование комбинированных методов обработки для типовых процессов.....	43
Санамян Г.В. Исследование сил резания при фрезеровании горячего наплавленного металла с применением математического планирования эксперимента.....	49
Смоленцев В.П., Болдырев А.А. Механизм управления процессом базирования индивидуальных заготовок в реологической жидкости.....	56
Тамаркин М.А., Прокопец А.А., Прокопец Г.А. Обеспечение стабильности процесса вибрационной обработки путем управления амплитудой колебаний рабочей камеры.....	61
Тихонов А.А., Тихонов А.А. Вероятностно-статистический анализ процесса формирования шероховатости поверхности при гидроабразивной обработке.....	67
Смоленцев В.П., Кузовкин А.В., Коптев И.Т., Золототубова Ю.С. Разработка технологического процесса изготовления деталей электродом-инструментом на основе цифрового прототипирования.....	74

Моделирование технологических процессов

Недоступ А.А., Наузов В.А., Ражев А.О. Математическое моделирование процесса погружения сетной стенки конькового невода под действием течения.....	80
А.А. Черепенько, А.П. Черепенько Теоретические основы комплексной технологии обеспечения качества рабочей поверхности гладильной подушки.....	86

Конструирование, расчеты и материалы

Barzdaitis V., Didžiokas R., Barzdaitis V. V. High power rotor bearing rubs diagnostics procedu e.....	93
Аверченков В.И., Польский Е.А., Артюхов А.С. Технологическое обеспечение надежности сборочных единиц на основе совершенствования анализа размерных связей при обработке на станках с ЧПУ.....	95
Копецкий А.А., Носенко В.А., Тышкевич В.Н., Орлов С.В. Влияние упругих деформаций на погрешность формы при закреплении и обработке колец подшипников.....	103

Машины, аппараты, технологии легкой и пищевой промышленности

Ахмедова Д.К. Способ замедления черствения хлебобулочных изделий.....	109
Быков С.А., Щучка Р.В., Суздальская Е.А. Определение и анализ качества экстрактов кофе и кофейной оболочки.....	115

Испытание, контроль, диагностика и управление качеством

Черный К.А. Совершенствование методов мониторинга безопасности и качества воздуха рабочей зоны при контроле аэронозного состава на современном машиностроительном производстве.....	121
---	-----

Инновации и кадры в машиностроении

Киричек А.В., Морозова А.В. Формирование модели оценивания уровня сформированности компетенций специалиста машиностроительного профиля.....	127
---	-----

Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology

The founder – Federal state educational institution of the higher vocational training
«State University – Educational-Science-Production Complex»
(State University ESPC)

Editorial council:

Golenkov V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.,
president

Radchenko S.Y. Doc. Sc. Tech., Prof.,
vice-president

Borzenkov M.I. Candidat Sc. Tech.,
Assistant Prof., secretary

Astafichev P.A. Doc. Sc. Low., Prof.

Ivanova T.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Kirichek A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Kolchunov V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Konstantinov I.S. Doc. Sc. Tech., Prof.

Novikov A.N. Doc. Sc. Tech., Prof.

Popova L.V. Doc. Sc. Ec., Prof.

Stepanov Y.S. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editorial Committee

Editor-in-chief

Stepanov Y.S. Doc. Sc. Tech., Prof.,
honored worker of science of Russian
Federation

Editor-in-chief Assistants

Gordon V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.

Kirichek A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Podmasteryev K.V. Doc. Sc. Tech.,
Prof.

Member of editorial board

Babichev A.P. Doc. Sc. Tech., Prof.

Vdovin S.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Dmitriev A.M. Doc. Sc. Tech., Prof.

Corresponding Member of RAS

Emelyanov S.G. Doc. Sc. Tech., Prof.

Zubarev Y.M. Doc. Sc. Tech., Prof.

Subchanov V.G. Doc. Sc. Ph-Math, Prof.

Ivanov B.R. Doc. Sc. Tech., Prof.

Kolesnikov K.S. Doc. Sc. Tech.,
Prof., Academician of RAS

Kopylov Y.R. Doc. Sc. Tech., Prof.

Malinin V.G. Doc. Sc. Ph-Math, Prof.

Mulyukin O.P. Doc. Sc. Tech., Prof.

Osadchy V.Ya. Doc. Sc. Tech., Prof.

Paulin V.E. Doc. Sc. Tech., Prof.,
Academician of RAS

Raspopov V.Ya. Doc. Sc. Tech., Prof.

Smolenzey V.P. Doc. Sc. Tech., Prof.

Responsible for edition:

Morozova A.V. Can. Sc. Soc.

Address

302020 Orel,

Naugorskoye Chosse, 29

(4862) 41-98-48, 41-98-03, 55-55-24,

43-48-90

www.gu-unpk.ru

E-mail: met_lit@ostu.ru

Journal is registered in Federal Agency

of supervision in sphere of communica-

tion, information technology and mass

communications. The certificate of

registration PI № FS77-47351 from

03.11.2011

Index on the catalogue of the «Pressa

Rossii» 29504

© State University ESPC, 2012

Contents

Machine building technology and toolware

Barzov A.A., Galinovskiy A.L., Litvin N.K., Hafizov M.V., Abashin M.I. Preparation of liquid suspensions using ultra-JET technology.....	3
Blumenstein V.Y., Krechetov A.A., Mahalov M.S. State-of-the-art competitive technologies of finishing and strengthening treatment with surface plastic deformation.....	9
Boldyrev A.I. Process flowsheets and tools for combined treatment of inner surfaces.....	16
Istotskiy V.V., Protasev V.B. Ensure the accuracy of the rake angle in the manufacture end mills on grinding machines with CNC.....	21
Koval N.C. Research of parameters of movement of the details established in the many-placed adaptation at vibroimpact treatment.....	24
Korovin A.A., Smolentsev V.P., Koptev I.T. Electrochemical machining in the manufacture of local heat transfer elements.....	27
Krupenya E.Y., Lebedev V. A., Filipchuk O.S. Technological pre-conditions of application of organic environments for oscillation finishing treatment of details.....	33
Poliski E.A., Potapov L.A., Novikov D.V. Automation of carrying out razmerno-tochnostnogo of the analysis for increase of adaptability to manufacture of the product at processing on the multi-purpose equipment.....	37
Smolentsev E.V. Designing of combined threathment for typical flows.....	43
G.V. Sanamyan Research of forces of cutting at milling hot welding metal with application of mathematical planning of experiment.....	49
Smolentsev V.P., Boldyrev A.A. Control mechanism of locating process of individual workpieces in rheological liquid.....	56
Tamarkin M.A., Prokopets A.A., Prokopets G.A. Ensuring the stability of the process of vibration control processing by the amplitude of oscillation of the working chamber.....	61
Tikhonov A. A., Tikhonov A. A. Statistical analysis of probability of the formation of surfaceroughness at hydroabrasive treatment.....	67
Smolentsev V.P., Kuzovkin A.V., Koptev I.T., Zolototrubova Y.S. Development process for producing parts tool-electrode based on digital prototyping.....	74

Process modeling

Nedostup A.A., Naumov V.A., Razhev A.O. Mathematical modelling of process of immersing netting of purse seine under action of current.....	80
Cherepenko A.A., Cherepenko A.P. Theoretical basis of integrated technologies ensure as a working surface ironing boards pillows.....	86

Construction, calculation, material

Barzdaitis V., Didziokas R., Barzdaitis V. V. High power rotor bearing rubs diagnostics procedure.....	93
Averchenkov V.I., Poliski E.A., Artuhov A.S. Technological maintenance of reliability of assembly units on the basis of perfection of the analysis of dimensional communications at processing on machine tools with NC.....	95
Kopetskiy A.A., Nosenko V.A., Tyshkevich V.N., Orlov S.V. Influence of elastic deformations on error of form at fixing and treatment of rings of bearings.....	103

Machine, apparatus, technology light and food industry

Akhmedova D.K. Way of extension shelf life of bakery products.....	109
Bykov S.A., Shchuchka R.V., Suzdalskaj E.A. Definition and analysis of the quality of coffee and its shell extracts.....	115

Tests, control, diagnostics and quality control

Chernyi K.A. Improvement of workplace air safety and quality monitoring methods when the air ion contaminations are controlling in the modern engineering company.....	121
--	-----

Innovation and personnel in engineering

Kirichek A.V., Morozova A.V. The machine-building profile specialists competence formedness level estimation model formation.....	127
---	-----

УДК 539.23; 621.9.048.7

А.А. БАРЗОВ, А.Л. ГАЛИНОВСКИЙ, Н.К. ЛИТВИН,
М.В. ХАФИЗОВ, М.И. АБАШИН

УЛЬТРАСТРУЙНОЕ МИКРОСУСПЕНЗИРОВАНИЕ ЖИДКОСТЕЙ И ГИДРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД

В статье рассматриваются вопросы получения микро и наносуспензий с применением ультразвуковой технологии. Применяемый способ позволяет сочетать активацию жидкой среды с введением в ее состав микро частиц различных материалов.

Ключевые слова: микросуспензирование, ультразвуковая технология, частицы материала, мишень, активация

ВВЕДЕНИЕ

Физическую основу ультразвуковых методов обработки материалов, обеспечивающую их технологическую результативность, является процесс управляемой гидроэрозии поверхности твердотельной мишени (заготовки) в зоне удара сверхскоростной компактной струи жидкости или абразивно-жидкостной суспензии. На этой базе интенсивно развиваются производственные технологии гидроабразивного резания конструкционных материалов и гидроочистки поверхностей изделий от трудноудаляемых загрязнений, следов коррозии и т.п.

Однако процесс ударно-динамического взаимодействия ультразвуковой жидкости с твердым телом и сопутствующие ему явления обладают более широкими физико-технологическими возможностями. В частности, в выполненных в МГТУ им. Н.Э. Баумана и МГУ им. М.В. Ломоносова исследованиях [1, 2] было показано существенное, практически значимое изменение свойств самой жидкости, в частности воды, подвергнутой ультразвуковой обработке.

В данной статье рассматривается еще одна инновационно-технологическая возможность использования сверхскоростной струи жидкости в качестве специфического инструмента для получения на базе размываемого струей материала мишени ультрамелкодисперсных функциональных суспензий.

Как известно, суспензии (от лат. suspensio – подвешивание) представляют собой двухфазную достаточно однородную гидроструктуру, состоящую из жидкости (коллоидного раствора, геля и т.д.) и мелкодисперсных твердых частиц, находящихся при нормальных условиях во взвешенном состоянии. Наличие в жидкости твердых частиц определенного состава, числа, концентрации, формы, размера и других физико-химических параметров способно существенным образом изменять исходные свойства жидкости (матрицы) и наполнителя – самих частиц, например за счет проявления различных граничных эффектов. В этом смысле суспензия представляет жидко-твердофазную квазиравновесную систему, имеющую все признаки классического композиционного материала.

Исходя из этого, суспензию можно условно классифицировать как специфический жидкофазный композиционный материал, обладающий весьма широкими функционально-технологическими возможностями и потребительскими свойствами. Хорошо известные технологии получения суспензий в различных отраслях промышленности по существу сводятся к двум основным способам производства: дисперсионному и конденсационному [1]. В последнем способе появление твердой фазы в жидкости обусловлено реализацией определенной цепочки физико-химических процессов, приводящих в конечном итоге к

конденсации из исходной жидкофазной системы (раствора) мелкодисперсных частиц, обычно кристаллической структуры и определенного химического состава.

В существующих (известных) способах процесс приготовления (получения) суспензий, состоящих из механической смеси жидкой фазы (жидкости, матрицы) и частичек твердой фазы (наполнителя, порошка) разделен по времени. Как правило, фракционирование и/или диспергирование исходного твердого продукта осуществляется механически, а затем происходит его смешивание с жидкой матрицей (жидким носителем). При этом процесс смешивания может сочетаться с измельчением наполнителя, сепарацией и т.д.

Такая последовательность действий снижает эффективность активации жидкофазной матрицы частицами твердого наполнителя. К числу активирующих жидкую матрицу процессов следует отнести диффузионные, химические и другие физические процессы и явления, протекающие на границе раздела двух фаз. Кроме этого, наличие на поверхности частиц порошка пассивирующих химических и молекулярных (адсорбционных) пленок также снижает процесс активации жидкофазной матрицы (ЖМ) элементами дисперсной твердой фазы (ТФ).

Ультраструйная технология (УСТ) позволяет существенно дополнить классификацию известных способов получения суспензий, причем ультразвуковые суспензии, обладают рядом уникальных свойств. Эти свойства обусловлены как активирующим физико-химическим действием удара ультразвука жидкости о мишень, так и условиями формирования самих сверхактивных твердофазных частиц: формой, размерами, высокой степенью ювенальности, особым энергетическим состоянием их поверхности и т.д.

Таким образом, процесс суспензирования, т.е. насыщения (легирования) исходной гидрофазной среды (жидкости или суспензии), частицами материала мишени является неотъемлемым физико-технологическим фактором УСТ. Причем результат ультразвукового суспензирования – спонтанное образование или целенаправленное получение суспензии соответствующей дисперсности может быть вторичным (резание, очистка, упрочнение), иметь важное информационное значение (ультраструйная диагностика) или быть технологически инициируемым и доминирующим.

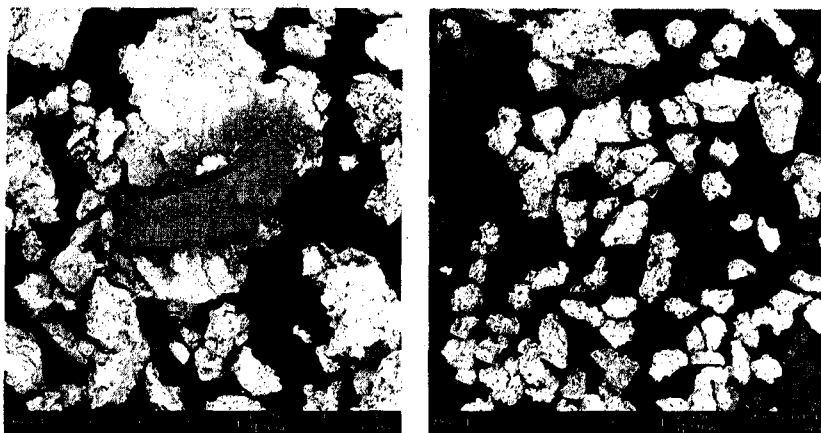
В последнем случае целью применения УСТ является управляемое и контролируемое получение ультразвуковой микросуспензии на основе материала гидродиспергируемой мишени.

Кроме того, как показали эксперименты, УСТ суспензирования иногда подобна известным конденсационным методам получения суспензий, так как в ряде случаев жидкости после ее удара о мишень наблюдается выпадение кристаллов, нерастворимых твердофазных и/или коллоидных осадков (частиц).

Таким образом, важным научно-практическим направлением в раскрытии инновационного потенциала УСТ является исследование и реализация возможности ультразвуковой гидротехнологии получения суспензий различного функционального назначения, а также уникальных порошкообразных материалов с особыми физико-химическими свойствами.

В общем, в основе идеи применения ультразвуковой гидротехнологии для получения активированных микро и нано суспензий лежит целевая установка на достижение высокопотребительских свойств.

Суть ультразвуковой гидротехнологии состоит в том, что ультразвуком (У) направляется на преграду (мишень), после ударно-динамического взаимодействия с которой происходит микроразрушение (размывание, гидроэрозия) последней с отделением мишени микро- и наночастиц материала. Отделившиеся (оторвавшиеся) активные частицы материала мишени смешиваются с уже активированной (за счет удара ЖМ) жидкостью. В качестве примера на рисунках 1, 2 представлены изображения микрочастиц серебряной и медной мишеней. Исследования показали, что размер частиц, отделившихся от поверхности материала мишени, имеет микро и нано размеры, причем очевидно большинство наночастиц серебра растворяются в рабочей жидкости.



а)

б)

Рисунок 1 – Изображение микрочастиц серебра (а) и меди (б) при увеличении 425х

Сама УС представляет собой компактный (диаметр струи 0,07-0,2 мм), высоконапорный (давление 100-700 МПа) и высокоскоростной (600-700 м/с) поток жидкости. Для иллюстрации на рисунке 2 продемонстрированы элементы технологической оснастки, специально разработанной для сбора активированной микро суспензии, и гидроструйного оборудования.



Сопло малого диаметра

Емкость
(верхняя крышка)
для сбора активированной
микро и нано суспензии

Патрубок для слива
(сбора)
суспензии

Элемент фиксации верхней крышки к
днищу емкости

Рисунок 2 - Элементы технологической оснастки и гидроструйного оборудования применяемого для получения активированных микро и нано суспензий

Основными факторами, приводящими к активации и лежащими в основе технологии получения суспензий данным методом, являются: сжатие, сверхинтенсивный удар о преграду, газонасыщение, микролегирование материалом мишени, диспергирование. Управление функциональной активностью различных жидкостей может осуществляться путем варьирования рабочего давления, диаметра струеформирующего сопла, расстояния до мишени, материала мишени и других технологических параметров обработки. В зависимости от решаемой задачи параметры технологического оборудования могут изменяться с целью их адаптации к конкретным условиям производства жидкофазной продукции. В качестве иллюстрации на рисунке 3 представлена закрепленная в технологической оснастке мишень из монокристалла кремния.

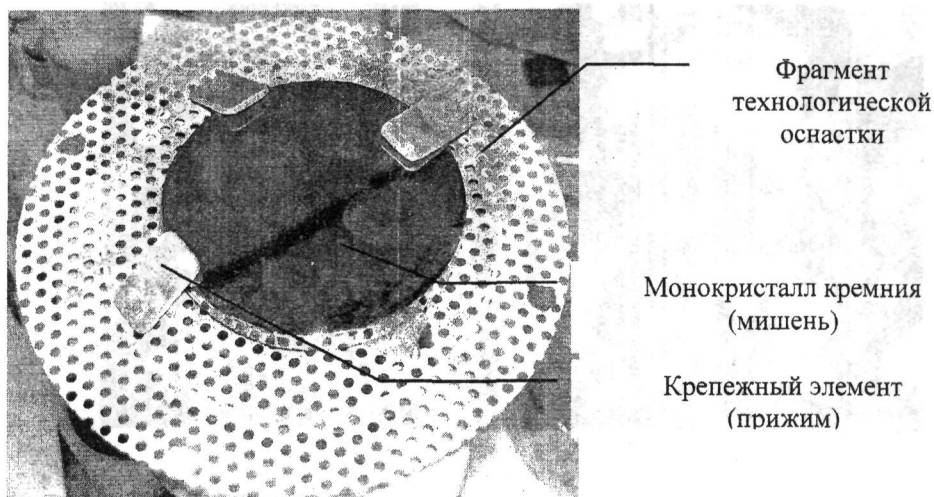


Рисунок 4 - Закрепление мишени из монокристалла кремния в технологической оснастке

Таким образом, ультразвуковая гидротехнология позволяет обеспечить совмещение процессов образования дисперсной ТФ и суспензии в целом, повысит функциональную активность последней. При этом, как было установлено, имеют место весьма специфические физические, химические и другие процессы и явления, также положительно влияющие на свойства суспензии. В первую очередь за счет реализации физико-химического взаимодействия ЖМ с развитой ювенальной поверхностью образующихся частиц ТФ.

К положительным параметрам предлагаемого ультразвукового способа получения (приготовления) активированных суспензий следует отнести легкую управляемость процессом, получение суспензий в промышленных масштабах, отсутствие ограничений на прочностные характеристики ТФ (вплоть до получения нано суспензий из алмаза и алмазоподобных материалов) и т.д.

К основным положительным активирующим факторам предлагаемого совмещенного способа получения активированных суспензий необходимо отнести следующее:

- образование частички ТФ непосредственно в контакте с жидкостью, т.е. внутри ЖМ;
- развитую (большую) поверхность частичек ТФ, т.е. большую величину отношения: поверхность частички к её массе, что интенсифицирует процесс активации при прочих равных условиях;

- воздействие на ЖМ механо-химических, физических и других процессов, происходящих в момент отделения частички ТФ от исходного компактного твердого материала (мишени);

- мощнейшее гидродинамическое, ударно-акустическое воздействие на поверхность мишени, приводящее, как известно, к активации самой ЖМ, т.е. к возможности проявления синергетических эффектов активации. Это объясняется тем, что струйно-ударная активация ЖМ в сочетании со сверхактивными частицами ТФ (наполнителя) может привести к появлению нелинейных эффектов в функциональных свойствах конечного продукта, которыми не обладали его исходные элементы (компоненты).

Другими словами, классическое правило «смесей» может не выполняться, т.е. создаются все необходимые и достаточные условия для проявления синергизма в свойствах активированной по предлагаемому способу суспензии.

Помимо этого, нужно отметить относительно не высокую среднюю температуру процесса получения суспензии; возможность активного влияния на свойства суспензии интенсивного целенаправленного газонасыщения; изменения физико-механических констант жидкостной матрицы и всей суспензии в целом и т.д.

В техническом отношении возможна многовариантная реализация способа, его сочетание с другими дополнительными (внешними) физико-технологическими воздействиями, факторами, полями и т.д. Легко реализуются технологические схемы получения многокомпонентных суспензий, в том числе жидкостей, в которых остался лишь «слепок» от ТФ, т.е. использования такого свойства ЖМ как память жидкостей, в первую очередь воды и её производных. Появляется техническая возможность получения микро- и наносуспензий с различными размерами ТФ, их сепарирование естественным путем (отстаивание) или в специальных сепараторах. Причем анализ наследственных свойств ЖМ, т.е. влияние на свойства жидкости в данный момент времени предыстории ее получения (предшествующих воздействий, примесей, полей и т.д.) является самостоятельной научно-прикладной задачей. Научно-методическим аналогом этих исследований может служить известная методология изучения факторов технологической наследственности в технических дисциплинах.

В результате выполненных исследований установлено, что применение ультразвуковой гидротехнологии позволяет решать комплекс вопросов, связанных с активацией и реновацией жидкофазных продуктов [3]. В частности, на примере воды и жидкостей на её основе показано: повышение функциональной активности смазочно-охлаждающих технологических сред, применяемых в металлообработке; сильное диспергирующее и стабилизирующее действие ультразвука (УС) на трудносмешиваемые эмульсии; сильное, вплоть до полного обеззараживания, бактерицидное действие на обрабатываемую жидкость УС за счет ударно-динамического фактора; сохранение эффекта стерилизации жидкости, в частности воды, в течение минимум одного года.

ВЫВОДЫ

Рассматриваемая ультразвуковая технология получения суспензий с физической точки зрения синергетически объединяет положительные черты двух во многом подобных гидротехнологий: кавитационно-волновой и ультразвуковой обработки жидкостей, в том числе с целью их суспензирования и эмульгирования.

Однако экстремально высокая энергетическая вариативность поведения ультразвука жидкости при ее ударе о мишень предопределяет, помимо известных изменений свойств конечного гидропродукта, весьма вероятное приобретение им новых, ранее не исследованных свойств. Характерными примерами этого являются эффекты аномально пролонгированной стерильности обработанной по ультразвуковой технологии гидросреды, а также ее чрезвычайно высокая физико-химическая активность в момент получения.

В связи с этим, использование УСТ в качестве инструмента для повышения потребительских свойств различных обрабатываемых жидкостей путем их суспензирования обладает необходимым научно-практическим и инновационным потенциалом развития.

Исследование выполнено за счет средств гранта Президента РФ для поддержки молодых российских ученых (МД-5069.2012.8) и гранта РФФИ №12-08-00802-а.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушенко, В.Н. Обратные эмульсии и суспензии в нефтегазовой промышленности [Текст] / В.Н. Глушенко. - М.: Изд-во «Интерконтакт Наука». - 725 с.
2. Патент: Барзов А.А., Галиновский А.Л., Балашов О.Е., Литвин Н.К., Мельникова Е.И., Сысоев Н.Н. Способ получения суспензий. №2009113198/15(017951), 09.04.2009
3. Барзов А.А. Технологии ультразвуковых жидкостей и суспензий [Текст] / А.А. Барзов, А.Л. Галиновский, В.С. Пузаков. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. - 250 с.

Александр Александрович Барзов
Доктор технических наук, профессор
ФГОУ ВПО «Московский государственный
технический университет имени Н.Э. Баумана»
Тел: (499) 263-65-96
E-mail: cm12@sm.bmstu.ru

Андрей Леонидович Галиновский
Доктор педагогических наук, кандидат технических наук,
Профессор ФГОУ ВПО «Московский государственный
технический университет имени Н.Э. Баумана»
Тел: (499) 263-65-96
E-mail: galcomputer@mail.ru

Николай Константинович Литвин
кандидат технических наук, доцент
Дмитровский филиал ФГОУ ВПО
«Московский
государственный технический уни-
верситет имени Н.Э. Баумана»
Тел: (499) 263-65-96
E-mail: cm12@sm.bmstu.ru

Михаил Иванович Абашин
Московский государственный
технический университет им.
Н.Э. Баумана, г. Москва
Инженер кафедры «Технологии
ракетно-космического машино-
строения»
Тел. 8(916)752-42-69
E-mail: texhelp@list.ru

Максим Васильевич Хафизов
Аспирант, лаборант
ФГОУ ВПО «Московский государ-
ственный технический университе-
т имени Н.Э. Баумана»
Тел: (499) 263-65-96
E-mail: cm12@sm.bmstu.ru

A.A. BARZOV, A.L. GALINOVSKIY, N.K. LITVIN, M.V. HAFIZOV, M.I. ABASHIN

PREPARATION OF LIQUID SUSPENSIONS USING ULTRA-JET TECHNOLOGY

*The article discusses how to obtain micro-and nanosuspensions using ultra-jet technology.
The applied method allows to combine the activated liquid and an introduction to her micro particles
of different materials.*

Keywords: *micro slurryfication, ultra-jet technology, particle material, the target, the activa-
tion*

BIBLIOGRAPHY

- [1]Gluschenko, V.N. Inverse emulsions and suspensions in the petroleum industry [Text] / V.N. Gluschenko
Moscow: Publishing House «Science Intercontact» - 725 p.
[2]Patent RU: Barzov A.A. Galinovsky A.L. Balashov O.E., Litvin N.K., Melnikova E.I., Sysoev N.N. /
method of producing suspensions. № 2009113198/15 (017951), 09.04.2009
[3]Barzov, A.A. Technology ultra-jet liquids and slurries [Text] / A.A. Barzov, A.L. Galinovsky, V.S. Puz-
kov. - Moscow: BMSTU, 2009. - 250 p.

Aleksandr Aleksandrovich Barzov
Doctor of Technical Sciences, Professor
" Bauman Moscow State Technical University "
Tel: (499) 263-65-96
E-mail: cm12@sm.bmstu.ru

Andrey Leonidovich Galinovsky
Doctor of Education, Ph.D. technical,
Professor" Bauman Moscow State Technical University "
Tel: (499) 263-65-96
E-mail: galcomputer@mail.ru

Nikolai Konstantinovich Litvin
Ph.D., Associate Professor
Dmitrovsky branch " Bauman Mos-
cow
State Technical University"
Tel: (499) 263-65-96
E-mail: cm12@sm.bmstu.ru

Mikhail Ivanovich Abashin
Engineer of the department "Tech-
nologies for rocket-cosmic engineer-
ing
Phone: 8(916) 752-42-69
E-mail: texhelp@list.ru

Maxim Vasilevich Khafizov
Graduate student, assistant
" Bauman Moscow State
Technical University "
Tel: (499) 263-65-96
E-mail: cm12@sm.bmstu.ru

СОВРЕМЕННЫЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

В статье представлен анализ особенностей статических методов, показаны актуальные научные и практические задачи в области отделочно-упрочняющей обработки (ОУО) поверхностным пластическим деформированием (ППД). Показано, каким образом эти и другие задачи решаются при создании патентов.

Ключевые слова: поверхностный слой, отделочно-упрочняющая обработка (ОУО), поверхностное пластическое деформирование (ППД), современные конкурентоспособные технологии, упрочняющая обработка, механическое состояние.

ОСОБЕННОСТИ ТРАДИЦИОННЫХ СТАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ППД

Среди методов отделочно-упрочняющей обработки (ОУО) ППД наиболее широкое приращение имеет накатывание роликами или шариками. Обработка осуществляется инструментом, деформирующие элементы (ДЭ) которого (шарики или ролики) взаимодействуют с обрабатываемой поверхностью [1-2].

Методы накатывания обладают рядом преимуществ [3-5]. Это отсутствие термических дефектов в поверхностном слое (ПС) деталей, сохранение целостности волокон металла и образование мелкозернистой структуры – текстуры металла поверхностного слоя, уменьшение шероховатости поверхности в несколько раз за один рабочий ход, простота конструкции и универсальность обкатных устройств и др.

При ППД накатыванием в результате деформационного упрочнения ПС, возникновения в нем сжимающих остаточных напряжений, сглаживания неровностей и улучшения их профиля повышается прочность деталей при переменных нагрузках в 1,5-2,5 раза, а долговечность в 5-10 раз и более. Накатывание во многих случаях позволяет также повысить износостойкость, контактную выносливость и другие эксплуатационные характеристики детали.

Однако необходимо учитывать, что большинство методов накатывания не повышает геометрической точности поверхности, обычно сохраняется точность, достигнутая на предшествующей операции. При интенсивных режимах обработки локальные участки поверхностных слоев могут нагреваться до температуры 300-400°C, что обуславливает термопластическое деформирование и другие явления, снижающие эффект упрочнения. При неправильно выбранных режимах накатывания может происходить деформационное разрушение с образованием частичек отслаивающегося металла и резкое увеличение шероховатости поверхности.

Накатывание наружных и внутренних, плоских и фасонных поверхностей осуществляется одно- и многороликовым, одно- и многшариковым, регулируемым и нерегулируемым инструментом, в упругом и жестком режимах, при совмещении с процессом резания, с наложением и без наложения дополнительных движений, с установкой ДЭ на опорах качения или в сепараторах и др.

Рыночный характер взаимоотношений между разработчиками и покупателями технологий в последние 20 лет привел к тому, что большая часть информации стала закрытой; в открытых источниках мал объем информации о технологиях ОУО ППД, либо информация ограничена лишь упоминанием о наличии определенных технологий или средств технологического оснащения для их реализации. На сайтах ведущих отечественных и мировых производителей имеется лишь информация об услугах по проектированию и изготовлению соответствующих станков, оснастки, инструментов и др.

Поэтому представленные материалы базируются на анализе доступных для авторов источников: изобретений, представленных в базах данных ФГУ ФИПС; статей, опублико-

ванных в журналах издательства «Машиностроение»: «Упрочняющие технологии и покрытия», «Автомобильная промышленность», «Технология машиностроения»; книг, изданных в РФ и республике Беларусь.

Анализ информации в исследуемой области знаний в последние 50-60 лет показал, что в настоящее время актуальными являются следующие научные и практические задачи в области ОУО ППД [6]:

1) научное обоснование создания новых и повышения эффективности существующих способов ППД. Основное внимание уделяется свойствам металла поверхностного слоя (ПС), явлениям в контакте инструмента с деталью, интенсификации режимов, стойкости инструментов, применению новых материалов для инструментов и др.;

2) одновременное обеспечение точности, качества ПС, производительности, эффективности, что достигается совмещенной и комбинированной обработкой, наложением ультразвуковых колебаний (УЗК), физических полей, нагревом ТВЧ, лазером, плазмой и др.; обеспечение стабильности и равномерности параметров упрочнения по глубине ПС и по всем сечениям детали;

3) комбинирование технологий нанесения эффективных многофункциональных покрытий с технологиями ППД, включая обработку ППД под покрытие, ППД покрытий и др.;

4) повышение пластичности и использование в максимально возможной мере запасов пластичности металла в процессе обработки ППД, что достигается за счет создания высоких давлений в соответствующих зонах очага деформации, наложением мощного ультразвука построением рациональных программ нагружения;

5) учет технологической наследственности, учет эффектов, проявляющихся в тонком поверхностном слое, что особенно важно для деталей, работающих в сложных условиях нагружения;

6) моделирование процессов, прогнозирование параметров ПС и эксплуатационных свойств деталей, что стало возможным благодаря программам, реализующим метод конечных элементов (МКЭ), OLAP-технологии и др.;

7) прогнозирование остаточных напряжений упрочненного поверхностного слоя на основе разработки и использования расчетных алгоритмов и физических методов неразрушающего контроля;

8) автоматизация проектирования, в том числе, путем создания специализированного программного обеспечения для ЭВМ, позволяющего выполнять необходимые конструкторские и технологические расчеты, разработки встроенных программ - макросов в существующие САПР и др.;

9) разработка, адаптация и применение эффективных методов контроля металла ПС учитывающих тонкие физические явления, включая, акустико-эмиссионные, акустико-структурометрические, метод магнито-шумового анализа, метод магнитной памяти металла и коэрцитиметрии и др.

Особую актуальность приобретают исследования, ориентированные на создание наноструктурированного металла поверхностного слоя, учет тонких явлений в наноразмерном диапазоне, что стало возможным благодаря развитию системы наноцентров в ведущих университетах в России и за ее пределами.

Ниже показано, каким образом решаются эти и другие задачи при создании патентов на изобретения, разработке и внедрении современных технологий ОУО ППД.

АНАЛИЗ ПАТЕНТОВ НА ИЗОБРЕТЕНИЯ В ОБЛАСТИ ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ППД

Патентный поиск проводился в соответствии с Международной патентной классификацией (МПК): по следующим рубрикам: B24B39, B24B1, B24D17, B24B31, B23B31, B23H9, B23P9, B06B3, C21D7, C23C8, C23C4, C23D5 и др.; по ключевым терминам - поверхностное пластическое деформирование, совмещенное ППД, комбинированное ППД; по авторам, на званиям учреждений и организаций. Глубина патентного поиска составила 17 лет.

В базах данных ФГУ ФИПС по указанным рубрикам всего было выявлено 89 изобретений, 52 % из которых составляют способы и 48 % - устройства, используемые для различных видов обрабатываемых поверхностей (рисунок 1).

Из всего перечня изобретений 74 % относится к ОУО ППД, 3 % - к совмещенной обработке ППД, 23 % - к комбинированной обработке ППД. Как известно, совмещенное ППД выполняется одновременно несколькими методами обработки, а комбинированное ППД выполняется последовательно несколькими методами [1-2]. Также 81 % изобретений относится к обработке наружных и 19 % - внутренних цилиндрических поверхностей.

Совмещают и комбинируют ППД, в том числе, металлопокрытий, путем пропускания через зону контакта электрического тока, с наложением магнитного поля, с опережающим резанием, с опережающим резанием и нанесением химического или электрохимического покрытия, с абразивно-алмазной обработкой, с наложением УЗК, с предварительным нагревом ПС плазменной струей и др.

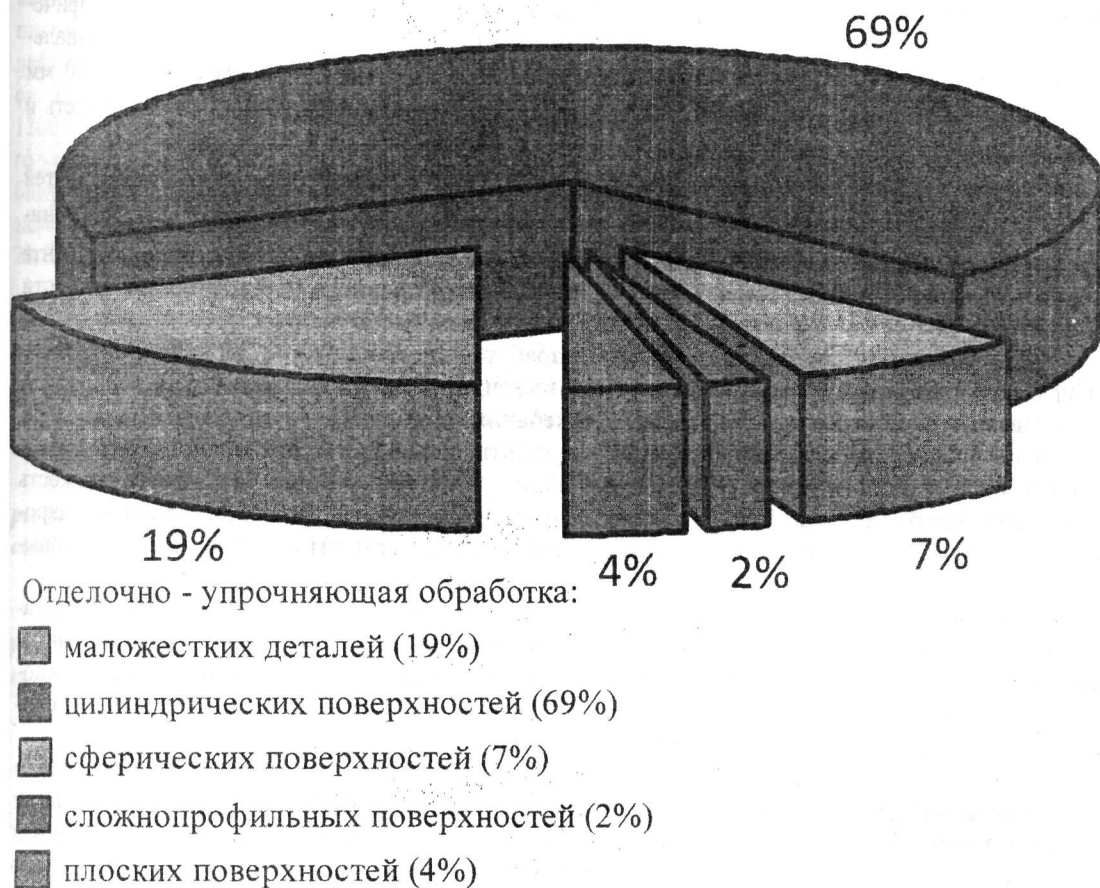


Рисунок 1 – Распределение изобретений по видам обрабатываемых поверхностей

Одним из наиболее простых способов является совмещение и комбинирование с механической обработкой резанием, что наряду с упрочнением поверхностного слоя детали обеспечивает также размерную точность, достигаемую в основном за счет резания.

Одновременное воздействие на обрабатываемую поверхность деформирующим инструментом и циклически изменяющимся, переменным по величине магнитным полем, перемещающимся относительно обрабатываемой поверхности совместно с инструментом позволило добиться увеличения микротвердости детали, изготовленной из стали 45, в 1,3 раза, из стали 38ХС - в 1,34 раза в сравнении с алмазным выглаживанием [7].

Для обработки ППД (раскатывания) маложестких деталей машин разработан способ, в котором в полость обрабатываемой детали помещают деформирующие элементы, которые сообщают вращательное движение вокруг продольной оси детали посредством магнитного поля, вводят деформирующие элементы во взаимодействие с обрабатываемой поверхностью, а затем перемещают деформирующие элементы параллельно продольной оси изделия [8].

С целью расширения технологических возможностей статико-импульсной обработки ППД за счет управления глубиной упрочненного слоя и микрорельефом поверхности разработан способ, который включает приложение к деформирующему инструменту в виде клинового ролика нормально к обрабатываемой поверхности вращающейся заготовки статической нагрузки и периодической импульсной нагрузки [9].

Этими же авторами разработан способ, который включает алмазно-абразивную обработку и одновременное ППД заготовки комбинированным инструментом [10], который выполняют в виде оправки, на которой соосно устанавливают алмазно-абразивный круг и деформирующие элементы в виде витков свернутой в кольцо стальной винтовой цилиндрической пружины из проволоки круглого сечения. На торце оправки, выполненной с радиальными выступами, закрепляют сектора. При обработке валиков $\varnothing 40$ мм и длиной 110 мм (сталь 45, 40-42 HRC, $Ra_{исх}$ 3-4) необходимая шероховатость Ra 0,16-0,32 мкм, точность и микротвердость 2600-2950 МПа поверхности были достигнуты в 1,9-2 раза быстрее.

Авторы способа комбинированной упрочняюще-чистовой обработки поверхностей одним и тем же режущим инструментом, имеющим вспомогательный угол $0^\circ < \varphi_1 < 5^\circ$, снижают припуск и производят последующее ППД вспомогательной поверхностью инструмента [11]. Эффективность достигается за счет отделки и существенного упрочнения поверхности на заданную глубину за один технологический ход одним инструментом.

Для финишной обработки отверстий разработан способ, который включает обработку поверхности отверстий растачиванием и ППД комбинированным инструментом, которому, в свою очередь, сообщают ультразвуковые колебания (УЗК) [12]. За счет применения УЗК способ позволяет: снизить силы резания, улучшить дробление стружки, повысить виброустойчивость технологической системы, уменьшить силы трения, повысить износостойкость обрабатываемого инструмента, уменьшить шероховатость поверхности, увеличить микротвердость ПС, получить остаточные напряжения сжатия, увеличить глубину наклепа, повысить производительность.

Способ комбинированного упрочнения включает пластическое деформирование деталей из железоуглеродистых сплавов, что осуществляется инструментом с одновременным пропусканием через зону контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью переменного электрического тока [13]. При этом износ образцов, упрочненных по предложенному способу, в 2 раза меньше, чем по известным способам.

Технической задачей, решаемой полезной моделью, является повышение качества и производительности обработки поверхностей деталей методом ППД за счет стабилизации давления в зоне обработки и гашения вибраций, возникающих при работе [14]. Поставленная задача решается за счет использования гидроамортизатора, установленного параллельно упругому элементу.

Эффективным является шлифование и ППД заготовок, имеющих фасонную поверхность и сопряженную с ней часть заготовки [15]. Обрабатывали заготовку пальца шарового верхнего (сталь 20Х ГОСТ 1050-89), сферу $\varnothing 32,7 \pm 0,1$ мм. Шероховатость обработанных фасонных поверхностей уменьшилась до Ra 0,32 – 0,63 мкм при исходной $Ra_{исх}$ 3,2 – 6,3 мкм, производительность повысилась более чем в пять раз по сравнению с раздельной обработкой шлифованием и обкатыванием, энергоемкость процесса уменьшилась в 2,2 раза.

Способ обработки стальных деталей ППД с использованием энергии ультразвуковых колебаний позволяет формировать нанокристаллическую структуру в поверхностном слое и субструктуру в нижележащих слоях, повысить износостойкость, коррозионную стойкость, надежность и долговечность [16]. Для этого деталь предварительно подвергают механиче-

ской обработке точением на токарном станке с созданием на ее поверхности шероховатости в виде гребней с профилем трапециевидной формы с высотой 10-20 мкм, шириной при основании 25-35 мкм и углом наклона боковых сторон 5-10° с последующим воздействием на поверхность детали индентором, нормально колеблющимся с ультразвуковой частотой.

Способ комбинированной обработки деталей включает точение и проведение ППД накатыванием деформирующим шаром, при этом точение и накатывание совмещают с нанесением химического или электрохимического покрытия при использовании технологической жидкости, а нанесение покрытия и ППД накатыванием проводят одним деформирующим шаром [17]. Предлагаемое техническое решение расширяет технологические возможности комбинированных методов обработки металлов электролизом и ППД, т.к. предлагаемым способом возможна обработка как наружных, так и внутренних цилиндрических и конических поверхностей.

С целью обеспечения прочности и адгезии порошкового покрытия, нанесенного плазменным напылением, предложен способ комбинированного упрочнения [18]. На поверхность плазменным напылением наносят порошковое покрытие, далее выполняют его пластическое деформирование, пропуская электрический ток через зону контакта инструмента с покрытием. Плотность электрического тока определяют из условия достижения температуры 900-1200°С на границе основного металла с порошковым покрытием. Величину деформирующего усилия инструмента определяют из условия протекания пластической деформации на глубину, равную толщине нанесенного порошкового покрытия. Результаты исследований показали, что плотность покрытия после обработки по предложенному способу увеличилась на 25-35 %, поры практически отсутствуют, а микротвердость возросла на 30-40 %.

Установлено, что в 95 % случаев заявителями изобретений являются физические лица, в 19 % случаев правообладателями являются физические лица, в 81 % – юридические лица (университеты, ООО, ОАО, МИП и др.). Из 89 патентов на изобретение: 23 – действуют; 18 – могут прекратить свое действие; 14 – прекратили действие, но могут быть восстановлены; 34 – в силу ряда причин прекратили действие.

Обзор выполнен в рамках проектов ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы» и АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы на 2009-2011 годы».

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 18295-72. Обработка упрочняющая. Термины и определения [Текст] – Введ. 1974-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1973. – 3 с.
2. ГОСТ 18296-72. Обработка поверхностным пластическим деформированием. Термины и определения [Текст] – Введ. 1974-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1973. – 10 с.
3. Смелянский, В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием [Текст] / В. М. Смелянский. - М.: Машиностроение, 2002. - 300 с.
4. Одинцов, Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием [Текст] : справочник / Л. Г. Одинцов. - М.: Машиностроение, 1987. - 328 с.
5. Папшев, Д. Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием [Текст] / Д. Д. Папшев. - М.: Машиностроение, 1978. - 152 с.
6. Блюменштейн, В. Ю. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин [Текст] / В. Ю. Блюменштейн, В. М. Смелянский. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 400 с.: ил.
7. Пат. 2078676 Российская Федерация, МПК⁶ В24В39/00. Способ комбинированной упрочняющей обработки [Текст] / Киричек А.В., Соколик Н.Л.; заявитель и патентообладатель Киричек А.В., Соколик Н.Л. – № 95102956/02; заявл. 02.03.1995; опубл. 10.05.1997.

8. Пат. 2068770 Российская Федерация, МПК⁶ B24B39/02. Способ поверхностного пластического деформирования и инструмент для его осуществления [Текст] / Довгалева А.М.; заявитель и патентообладатель Довгалева А.М. – № 4922542/27; заявл. 29.03.1991; опубл. 10.11.1996.
9. Пат. 2286240 Российская Федерация, МПК B24B39/00. Способ поверхностного пластического деформирования [Текст] / Степанов Ю.С., Киричек А.В. и др.; патентообладатель ГОУ ВПО ОрелГТУ. – № 2005119319/02; заявл. 21.06.2005; опубл. 27.10.2006.
10. Пат. 2303513 Российская Федерация, МПК B24B39/00. Способ комбинированной чистовой и упрочняющей обработки [Текст] / Степанов Ю.С., Киричек А.В. и др.; патентообладатель ГОУ ВПО ОрелГТУ. – № 2005133930/02; заявл. 02.11.2005; опубл. 27.07.2007.
11. Пат. 2240206 Российская Федерация, МПК⁷ B23B1/00. Способ отделочно-упрочняющей обработки поверхностей резанием [Текст] / Албагачиев А.Ю., Комаров В.А., Преображенская Е.В.; патентообладатель Преображенская Е.В. – № 98123810/63; заявл. 28.12.1998; опубл. 20.07.1999.
12. Пат. 2293012 Российская Федерация, МПК B23B39/02, B06B3/00. Способ комбинированного упрочнения поверхностей деталей [Текст] / Фирсов А.М., Хмельев В.Н., Савин И.И., Беляев В.Н.; патентообладатель ГОУ ВПО АлтГТУ. – № 2005112062/02; заявл. 21.04.2005; опубл. 10.02.2007.
13. Пат. 2203173 Российская Федерация, МПК⁷ B24B39/00. Комбинированный способ обработки отверстий и устройство для его осуществления [Текст] / Паршев С.Н., Положенко Н.Ю.; патентообладатель ГОУ ВПО ВолГТУ. – № 2001110450/02; заявл. 17.04.2001; опубл. 27.04.2003.
14. Пат. на полезную модель 41665. Российская Федерация, МПК⁷ B24B39/04. Устройство для поверхностного пластического деформирования [Текст] / Казнов В.Ф., Митюгов В.А., Беляев С.М., Зайцев В.Н.; патентообладатель ОАО "ГАЗ. – № 2004120142/22; заявл. 05.07.2004; опубл. 10.11.2004.
15. Пат. 2325261 Российская Федерация, МПК B24B39/04. Комбинированный способ шлифования и поверхностного пластического деформирования [Текст] / Степанов Ю.С., Киричек А.В. и др.; патентообладатель ГОУ ВПО ОрелГТУ. – №: 2006122342/02; заявл. 22.06.2006; опубл. 27.05.2008.
16. Пат. 2354715 Российская Федерация, МПК C21D7/06, B23P9/00. Способ упрочнения деталей из конструкционных материалов [Текст] / Клименов В.А., Ковалевская Ж.Г., Зайцев К.В. и др.; патентообладатель ГОУ ВПО ТПУ. – № 2007148749/02; заявл. 24.12.2007; опубл. 10.05.2009.
17. Пат. 2355826 Российская Федерация, МПК C25D5/22. Способ комбинированной обработки деталей [Текст] / Беляев В.Н., Беляев Е.Н.; патентообладатель ЗАО «Алтайгражданпроект». – № 2007118315/02; заявл. 16.05.2007; опубл. 20.05.2009.
18. Пат. 2338005 Российская Федерация, МПК C23C4/18, B23H9/00. Способ комбинированного упрочнения поверхностей деталей [Текст] / Багмутов В.П., Калита В.И., Паршев С.Н. и др.; патентообладатель ГОУ ВПО ВолГТУ. – №: 2006145603/02; заявл. 20.12.2006; опубл. 10.11.2008.

Валерий Юрьевич Блюменштейн
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева»
(КузГТУ)
Тел: +7(384-2)-58-30-73
E-mail: blumenstein@rambler.ru

Андрей Александрович Кречетов
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева»
(КузГТУ)
Тел: +7(384-2)-58-30-73
E-mail: andykrech@mail.ru

Максим Сергеевич Махалов
кандидат технических наук
ФГБОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева»
(КузГТУ)
Тел: +7(384-2)-58-30-73
E-mail: maxim_ste@mail.ru

V.Y. BLUMENSTEIN, A.A. KRECHETOV, M.S. MAHALOV

STATE-OF-THE-ART COMPETITIVE TECHNOLOGIES OF FINISHING AND STRENGTHENING TREATMENT WITH SURFACE PLASTIC DEFORMATION

The article produces the analysis of the static methods details and investigates the problems of scientific and practical importance in the finishing and strengthening treatment (FST) with surface plastic deformation (SPD). The ways to solve these and other such problems in the creation of intellectual property items are shown.

Key words: *surface layer, finishing and strengthening treatment (FST), surface plastic deformation (SPD), state-of-the-art competitive technologies, hardening processing, mechanical condition*

BIBLIOGRAPHY

- [1]GOST 18295-72. Processing strengthening. Terms and definitions [Text] – Introduction. 1974-01-01. – Moscow: Publishing house of standards, 1973. – 3 p.
- [2]GOST 18296-72. Обработка поверхностным пластическим деформированием. Термины и определения [Text] – Введ. 1974-01-01. – Moscow: Publishing house of standards, 1973. – 10 p.
- [3]Smelyansky, V.M. Mehaniks of hardening by superficial plastic deformation [Text] / V.M.Smelyansky. - Moscow: Mashinostroenie, 2002. - 300 p.
- [4]Odintsov, L.G. Details hardening and furnishing by superficial plastic deformation: directory [Text] / L. G.Odintsov. - Moscow: Mashinostroenie, 1987. - 328 p.
- [5]Papshev, D. D. Otdelochno-strengthening processing by superficial plastic deformation [Text] / D.D.Papshev. - Moscow: Mashinostroenie, 1978. - 152 p.
- [6]Bljumenshtejn, V. Ju. Mechanics of technological inheritance at stages of processing and car details operation [Text] / V.Ju.Bljumenshtejn, V.M.Smelyansky. – Moscow: Mashinostroenie-1, 2007. – 400 p.: illustrated.
- [7]Patent 2078676 RF, MPK⁶ B24B39/00. Mode of the combined strengthening processing [Text] / Kirichek A.V., Sokolik N.L.; the applicant and patent owner Kirichek A.V., Sokolik N.L.– № 95102956/02; applic. 02.03.1995; publ. 10.05.1997.
- [8]Patent 2068770 RF, MPK⁶ B24B39/02. Mode of superficial plastic deformation and the tool for its realization [Text] / Dovgalev A.M.; the applicant and patent owner Dovgalev A.M.– № 4922542/27; applic. 29.03.1991; publ. 10.11.1996.
- [9]Patent 2286240 RF, MPK B24B39/00. Mode of superficial plastic deformation [Text] / Stepanov J.S., Kirichek A.V., etc.; patent owner SEO OrelSTU. – № 2005119319/02; applic. 21.06.2005; publ. 27.10.2006.
- [10]Patent 2303513 RF, MPK B24B39/00. Mode of the combined fair and strengthening processing [Text] / Stepanov J.S., Kirichek A.V. and etc.; patent owner SEO OrelSTU. – № 2005133930/02; applic. 02.11.2005; publ. 27.07.2007.
- [11]Patent 2240206 RF, MPK⁷ B23B1/00. Mode of finishing - strengthening surfaces processing by cutting [Text] / Albagachiev A.J., Komarov V.A, Preobrazhenskaja E.V.; patent owner Preobrazhenskaja E.V.. – № 98123810/63; applic. 28.12.1998; publ. 20.07.1999.
- [12]Patent 2293012 RF, MPK B23B39/02, B06B3/00. A mode of the details surfaces combined hardening [Text] / Firsov A.M., Hmelyov V. N, Savin I.I., Belyaev V.N.; patent owner SEO AltSTU. – № 2005112062/02; applic. 21.04.2005; publ. 10.02.2007.
- [13]Patent 2203173 RF, MPK⁷ B24B39/00. The combined mode of bores processing and the device for its realization [Text] / Parshev S.N., Polozenko N.Ju.; patent owner SEO VolSTU. – № 2001110450/02; applic. 17.04.2001; publ. 27.04.2003.
- [14]Patent на полезную Model 41665 RF, MPK⁷ B24B39/04. The device for superficial plastic deformation [Text] / Kaznov V. F, Mitjugov V. A, Belyaev S.M., Zaytcev V.N.; patent owner OAS "GAZ". – № 2004120142/22; applic. 05.07.2004; publ. 10.11.2004.
- [15]Patent 2325261 RF, MPK B24B39/04. The combined mode of grind and superficial plastic deformation [Text] / Stepanov J.S., Kirichek A.V., etc.; patent owner SEO OrelSTU. – №: 2006122342/02; applic. 22.06.2006; publ. 27.05.2008.
- [16]Patent 2354715 RF, MPK C21D7/06, B23P9/00. Mode of hardening of details from constructional materials [Text] / Klimenov V. A, Kovalevskaja Z.G., Zaytcev K.V. and etc.; patent owner SEO TPU. – № 2007148749/02; applic. 24.12.2007; publ. 10.05.2009.
- [17]Patent 2355826 RF, MPK C25D5/22. Mode of the combined details processing [Text] / Beljaev V. N, Beljaev E.N.; patent owner CAS «Altaygraghdanproyekt». – № 2007118315/02; applic. 16.05.2007; publ. 20.05.2009.
- [18]Patent 2338005 RF, MPK C23C4/18, B23H9/00. Mode of the combined details surfaces hardening [Text] / Bagmutov V. P, Kalita V. I, Parshev S.N., etc.; patent owner SEO VolSTU. – №: 2006145603/02; applic. 20.12.2006; publ. 10.11.2008.

Valeriy Yuryevich Blumenstein,
 Doct. tech. sci., prof.
 State Educational Institution of Higher Professional Training
 "Kuzbass State Technical University"
 (KuzSTU), Kemerovo
 Phone: +7(384-2)-58-30-73
 E-mail: blumenstein@rambler.ru

Andrey Alexandrovich Krechetov,
 Cand. tech. sci., senior lect.
 State Educational Institution of Higher Professional Training
 "Kuzbass State Technical University"
 (KuzSTU), Kemerovo
 Phone: +7(384-2)-58-30-73
 E-mail: andykrech@mail.ru

Maxim Sergeevich Mahalov, Cand.
 tech. sci
 State Educational Institution of Higher Professional Training
 "Kuzbass State Technical University"
 (KuzSTU), Kemerovo
 Phone: +7(384-2)-58-30-73
 E-mail: maxim_ste@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ И ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В статье рассмотрена комбинированная электрохимикомеханическая обработка внутренних поверхностей. Обработка выполняется комбинированным электродом-инструментом, выполненным из изолированных один от другого инструментами для электрохимической обработки и калибрующего протягивания. Рассмотрены конструкции различных комбинированных инструментов.

Ключевые слова: внутренние поверхности, обработка, комбинированные инструменты

ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование существующих конструкций машин и создание принципов новых изделий непосредственно связано с реальными условиями технологии производства. Предложенный метод комбинированной электрохимикомеханической обработки может быть использован при обработке весьма широкого класса деталей. К ним можно отнести изделия авиационной и ракетно-космической техники, химической и нефтегазоперерабатывающей промышленности, общего машиностроения (гидроцилиндры, гильзы и втулки различного назначения; рессорные валы, валы трансмиссий, ГТД, ТХМ, редукторов; телескопические амортизаторы; волноводы радиорелейных и широкополосных линий связи; трубопроводы расходоизмерительных устройств и т.п.). Как правило, такие детали характеризуются трудными условиями их работы: агрессивные рабочие среды, интенсивные знакопеременные тепловые нагрузки.

Поэтому основной целью, которая ставилась при разработке метода комбинированной электрохимикомеханической обработки, являлось создание электродов-инструментов и средств технологического оснащения, которые дают возможность проводить размерообразование поверхностей деталей различной формы с гарантированным обеспечением качественных и эксплуатационных характеристик.

В ВГТУ разработана новая схема электрохимикомеханической обработки [1] внутренних поверхностей с постоянной силой перемещения комбинированного инструмента вдоль оси отверстия. Такая схема обработки может быть реализована для отверстий различных геометрических форм и сечений.

Для круглых и фасонных постоянных сечений и прямой осью отверстий (трубы) также ступенчатых отверстий вполне приемлема схема обработки по [1]. Комбинированный электрод-инструмент, осуществляющий данную схему, приведен на рисунке 1.

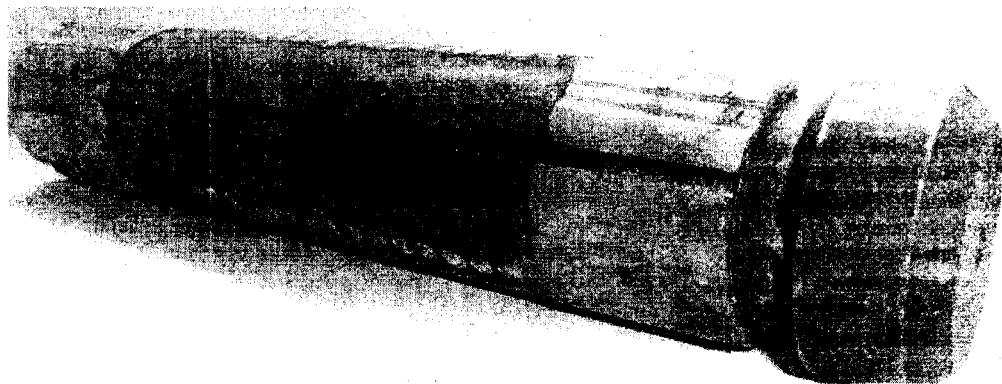


Рисунок 1 – Комбинированный инструмент для обработки отверстий с прямой осью

Круглые и некруглые отверстия с постоянным сечением и криволинейной осью с постоянными и переменными радиусами изгиба обрабатываются инструментом, конструкция которого приведена на рисунке 2. За основу комбинированного инструмента взята конструкция электрода-инструмента по [2], оснащенная калибрующим элементом в виде шара заданного диаметра. Электрод-инструмент состоит из отдельных секций 1, между которыми установлены диэлектрические прокладки 2, имеющие выступы по наружной поверхности. Высота этих выступов определяет величину межэлектродного зазора. Все части электрода-инструмента плотно скреплены стяжным болтом 3 с гайками 4. Комбинированный электрод-инструмент перемещается в трубе гибким тросом 5, связанным с калибрующим элементом 6. Ток подводится через гибкий изолированный провод 7, который может быть прикреплен к тросу 5.

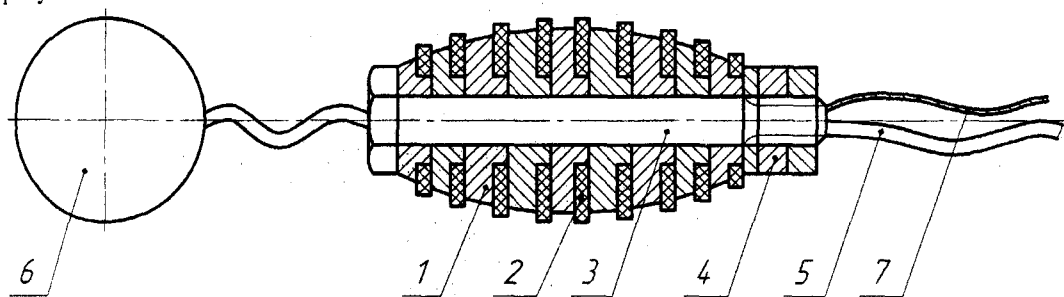


Рисунок 2 – Комбинированный инструмент для обработки отверстий с криволинейной осью

При некруглой или изменяющейся по длине форме внутренней поверхности (например, при наличии сопряженных цилиндрических и конических участков) применяется комбинированный инструмент, конструкция электрода-инструмента которого приведена на рисунке 3 [3]. Рабочая часть катодного устройства снабжена роликовыми изоляторами 3, а на корпусе 2, соединенном со штангой 1, установлены подвижные упоры 4 с упругими элементами, осуществляющими прижим изоляторов к внутренней поверхности трубы и сохраняющими заданный межэлектродный зазор.

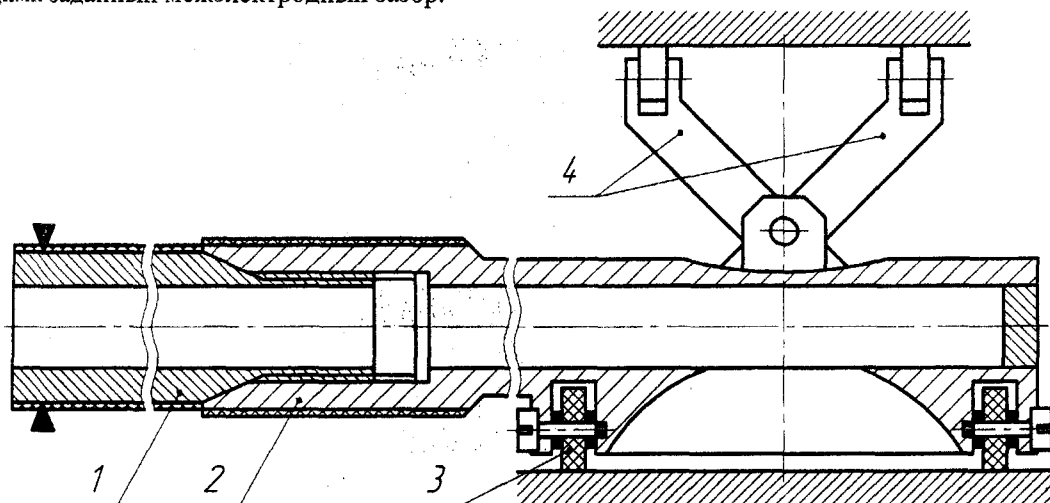


Рисунок 3 – Электрод-инструмент для обработки некруглых отверстий

• Длиномерные детали с изменяющимися по длине формами поперечных сечений и переменными периметрами отверстий эффективно применение электрода-инструмента не жесткой конструкции по [4] (рисунок 4). Устройство имеет рабочую часть, выполненную из жестких пластин в виде звеньев 4 цепи, соединенных между собой осями 5, жестко установ-

ленных в смежных звеньях. Имеющиеся в них пазы позволяют изменять длину периметра катода, а поворот звеньев обеспечивает идентичность формы катода и обрабатываемой поверхности. На звеньях закреплены изоляторы 8, высота которых определяет зазор между электродами. На концах рабочей части установлены четырехзвенники, к которым крепится собранная цепь. Для устранения скручивания катода установлены жесткие рычаги 7. Внутри рабочей части помещена резиновая или капроновая камера 1, в которой создается давление. Ток от центрального стержня к пластинам подается гибкими токоподводами 2. Звенья соединены с корпусом катода при помощи стяжек 6, изолированных втулками 3. Если при этом рабочая поверхность разделить на отдельные участки с индивидуальным подводом тока, то возникает возможность изменения сьема металла в пределах сечения детали.

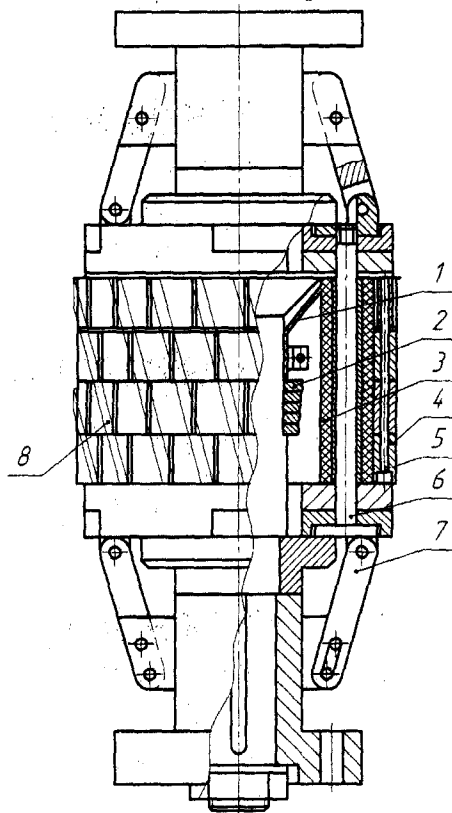


Рисунок 4 – Схема катода с рабочей поверхностью в виде цепи

Некруглые отверстия со ступенчато-гладким изменением периметра сечения с прямой и криволинейной осью обрабатываются инструментом [5], конструкция которого приведена на рисунке 5. Рабочая часть катода из листового упругого материала позволяет обеспечивать равномерный сьем металла при значительных силах тока, подводимого гибкими шинами от штанги 1 с уплотнением 2 к обечайке 3. Замок 7 выполнен в виде перекрывающихся концов обечайки, имеющих ограничитель перемещения 8, который позволяет изменять периметр обрабатываемой внутренней поверхности. При малой толщине обечайки такое перемещение не вызывает нарушения равномерности сьема металла. Замок расположен под углом к оси инструмента. Обечайка 3 прижимается изоляторами 4 к обрабатываемой поверхности за счет упругих сил материала. Если заготовка имеет значительные изменения профиля, то внутри обечайки помещается резиновая камера, в которой создается давление, от внешнего источника. Герметичность в рабочей зоне достигается с помощью уплотнения и заглушки 6.

Ту же задачу решает и способ электрохимикомеханической обработки по [6], где регулируется сила продольной подачи электрода-инструмента путем изменения давления

внутри его рабочей части обратно пропорционально изменению периметра поперечного сечения обрабатываемого отверстия. Устройство для реализации данного способа (рисунок 6) состоит из рабочей части, выполненной в виде звеньев цепи 1, соединенных между собой осями 2. Звенья цепи 1 жестко установлены в смежных звеньях. Имеющиеся в них пазы позволяют изменять длину периметра электрода-инструмента под действием давления, прижимающего рабочую часть к обрабатываемой поверхности отверстия 5, которое передается через герметичную эластичную камеру 4, расположенную внутри рабочей части электрода-инструмента, а поворот обеспечивает идентичность рабочей части и обрабатываемой поверхности. На звеньях находятся изоляторы 3, выполненные из износостойкого материала. Изоляторы расположены так, что перекрывают обрабатываемую поверхность даже при крайних положениях оси 2 в пазу 7, т.е. при максимально допустимом периметре сечения отверстия. В пазу 7 установлен датчик положения, соединенный проводами 6 с преобразователем сигналов. Преобразователь сигналов связан с регулятором давления, изменяющим давление в электроде-инструменте.

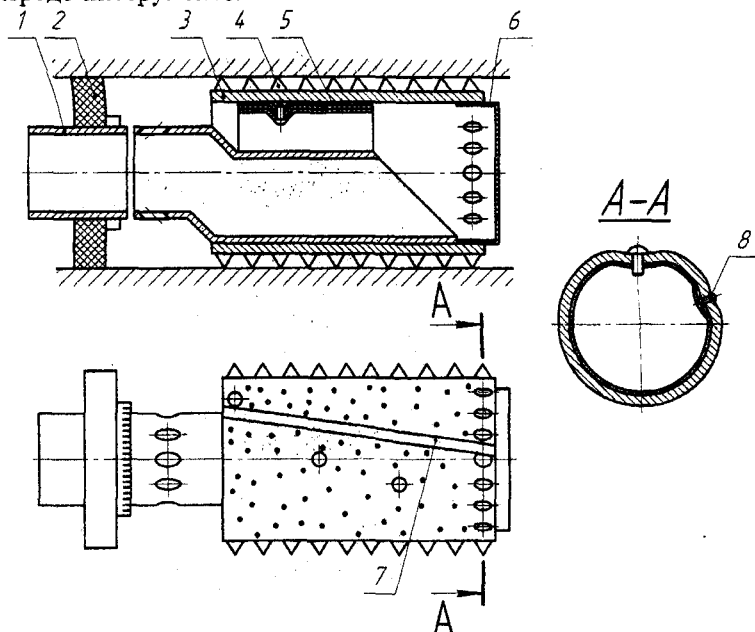


Рисунок 5 – Схема катода с гибкой металлической обечайкой

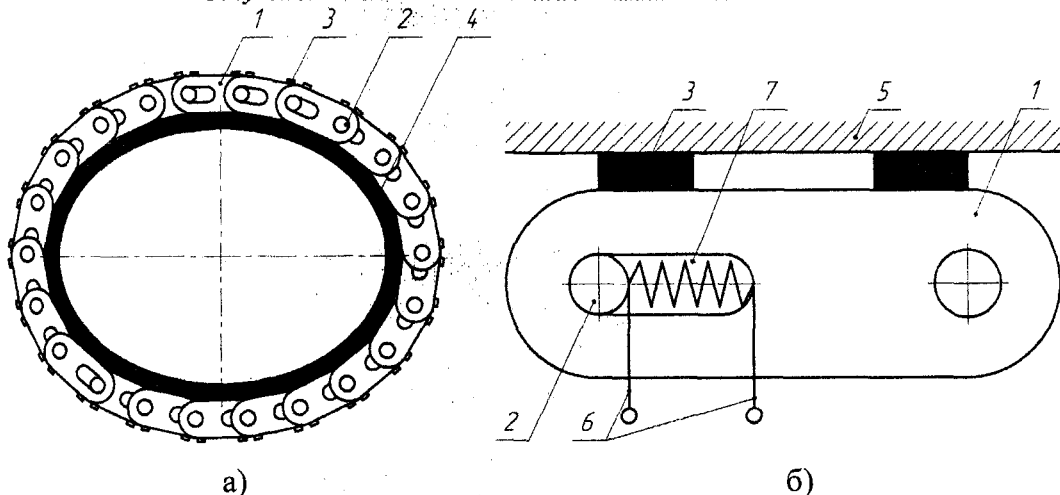


Рисунок 6 – Устройство для электрохимикомеханической обработки каналов

ВЫВОД

Предложенная схема обработки и разработка новых конструкций электродов-инструментов для комбинированной обработки, без сомнения, позволят расширить гамму обрабатываемых отверстий различных геометрических форм и сечений длинномерных деталей.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. 1085734 СССР, МКИ³ В 23 Р 1/04. Способ электрохимикомеханической обработки [Текст] / А.И. Болдырев, В.П. Смоленцев (СССР). - Оpubл. 1984. - Бюл. № 14.
2. Смоленцев, В.П. Технология электрохимической обработки внутренних поверхностей [Текст] / В.П. Смоленцев. - М.: Машиностроение, 1978. - 176 с.
3. А.с. 227035 СССР, Кл. 48а 1/00, МПК С 23b. Катодное устройство для электрохимической обработки [Текст] / В.П. Смоленцев, А.К. Хайрутдинов, Б.С. Сиротинский и др. (СССР). - Оpubл. 1968. - Бюл. № 29.
4. А.с. 265334 СССР, Кл. 21h 33/13, МПК С 23b. Электрод-инструмент для электрохимической обработки каналов [Текст] / В.П. Смоленцев, Г.Ш. Тукманов, А.К. Хайрутдинов и др. (СССР). - Оpubл. 1970. - Бюл. № 10.
5. А.с. 253516 СССР, Кл. 48а 1/00, МПК С 23b. Катодное устройство [Текст] / В.П. Смоленцев, А.К. Хайрутдинов, А.Э. Малаховский и др. (СССР). - Оpubл. 1969. - Бюл. № 30.
6. Патент № 2195390 РФ. Способ электрохимикомеханической обработки каналов и устройство для его осуществления [Текст] / В.П. Смоленцев, М.Г. Поташников, А.С. Белякин (РФ). - Оpubл. 2002. - Бюл. № 36.

Александр Иванович Болдырев
Кандидат технических наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет»
Тел: (473) 2
E-mail: alexboldyrev@vandex.ru

A.I. BOLDYREV

PROCESS FLOWSHEETS AND TOOLS FOR COMBINED TREATMENT OF INNER SURFACES

The article is devoted to combined electrochemical mechanical treatment of inner surfaces. The treatment is performed by combined tool electrode made of insulated from one another tools for electrochemical treatment and calibrating pulling. The author also deals with construction of different combined tools.

Key words: inner surfaces, treatment, combined tools.

BIBLIOGRAPHY

- [1] A.c. 1085734 USSA, MКИ³ В 23 Р 1/04. Electro-chemical-machining mode [Text] / A.I.Boldyrev, V.P.Smolentsev (USSR). - Publ. 1984. - Bull. № 14.
- [2] Smolentsev, V.P. Tehnology of electrochemical processing [Text] / V.P.Smolentsev. M: Mashinostroenie, 1978. - 176 p.
- [3] A.c. 227035 USSR, Kl. 48a 1/00, MPK C 23b. The cathodic device for electrochemical processing [Text] / V.P.Smolentsev, A.K.Hayrutdinov, B.S.Sirotinsky, etc. (USSR). - Publ. 1968. - Bull. № 29.
- [4] A.c. 265334 The USSR, Kl. 21h 33/13, MPK with 23b. The Electrode-tool for electrochemical processing of ports [Text] / V.P.Smolentsev, G.Sh.Tukmanov, A.K.Hajrutdinov, etc. (USSR). - Publ. 1970. - Bull. № 10.
- [5] A.c. 253516 USSR, Kl. 48a 1/00, MPK 23b. The cathodic device [Text] / V.P.Smolentsev, A.K.Hayrutdinov, A.E.Malahovsky, etc. (USSR). - Publ. 1969. - Bul. № 30.

[6]Patent № 2195390 RF. Mode of electro-chemical-mechanical processings of ports and the device for its realization [Text] / V.P.Smolentsev, M.G.Potashnikov, A.S.Beljakin (RF). - Publ. 2002. - Bull. № 36.

Alexander Ivanovich Boldyrev
Cand.Tech.Sci., the professor
FSBEO HPE «Voronezh state
Technical university»
Тел: (473) 2
E-mail: alexboldyrev@yandex.ru

УДК 621.91.002

В.В. ИСТОЦКИЙ, В.Б. ПРОТАСЬЕВ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПЕРЕДНИХ УГЛОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ КОНЦЕВЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ФРЕЗ НА ШЛИФОВАЛЬНО-ЗАТОЧНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

В статье рассматривается влияние износа шлифовальных кругов на величину передних углов при изготовлении концевых фрез малых диаметров (до 14 мм).

Ключевые слова: качество концевых твердосплавных фрез, шлифовально-заточной станок с ЧПУ, компенсация износа шлифовальных кругов

Передний угол фрез оказывает существенное влияние на процесс резания [1], он определяет направление линий скольжения, износ передней поверхности, степень усадки стружки, а также в значительной мере влияет на усилия резания и потребляемую мощность.

Особенность физических свойств обрабатываемых материалов все чаще требуют точного изготовления фрез, т.е. соответствия значений передних углов требованиям чертежей на эти режущие инструменты.

Измерение передних углов на фрезах, особенно с малыми диаметрами (до 6...8 мм) является отдельной задачей, которая до настоящего времени не решена для т.н. цеховых условий. Возможно поэтому, точность передних углов часто ограничивают отклонениями $\gamma \pm 1^\circ$. Такие отклонения теоретически не обоснованны, а практически часто не обеспечиваются даже при использовании шлифовально-заточных станков с ЧПУ.

Современные технологии изготовления стружечных канавок, которые определяют значения передних углов, ориентируются на использование (рисунок 1) шлифовальных кругов упрощенной формы, которые, как правило, работают с применением т.н. "глубинного" шлифования и, несомненно, подвергаются более значительному износу по сравнению с традиционным шлифованием.

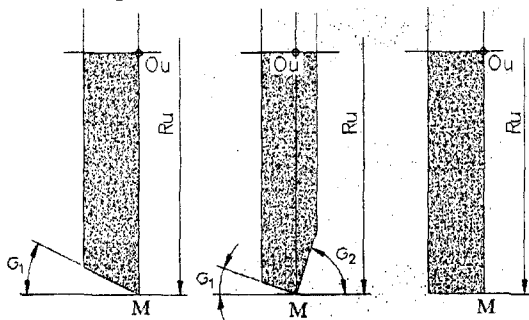


Рисунок 1 - Формы шлифовальных кругов

Доказано [2], что передняя поверхность инструмента окончательно формируется точкой М, которая наиболее интенсивно изнашивается. На рисунке 2 показана 3D модель концевой фрезы и ее поперечное сечение, соответствующее заточке задней поверхности.

Такое положение идеализированно и предполагает отсутствие износа точки М на шлифовальном круге.

Реальная ситуация при износе шлифовального круга в зоне точки М, например $r=0,5$ мм для фрезы диаметром 10 мм и числом зубьев $z=4$ показана на рисунке 3.

В результате обработки инструмента шлифовальным кругом с износом в точке М передняя поверхность, пересекающаяся с производящей поверхностью (в сечении являющейся окружностью с радиусом $R=5$ мм), смещается и это приводит к изменению формы самой передней поверхности (ПП) и переднего угла γ .

Измерения с помощью возможностей систем 3D моделирования [3] показывают, что при износе шлифовального круга в точке М до величины $r=0,5$ мм передний угол уменьшается от номинальной величины $\gamma=10^\circ$ до $\gamma_{\min}=2,7^\circ$, что явно недопустимо.

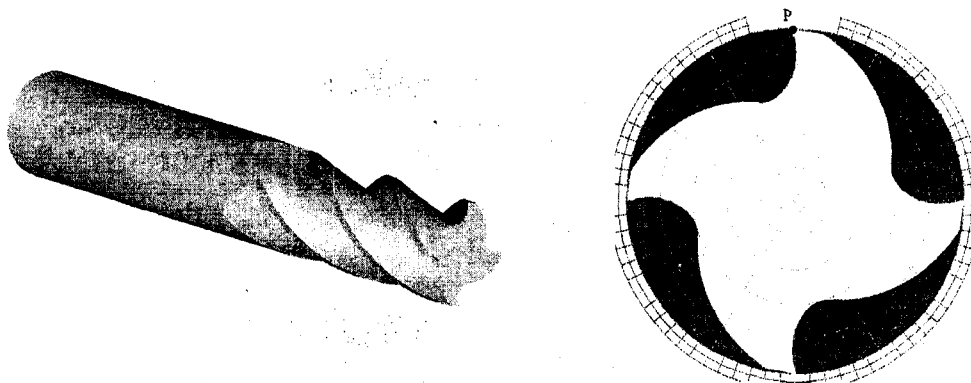


Рисунок 2 - Положение режущей кромки при заточке задней поверхности

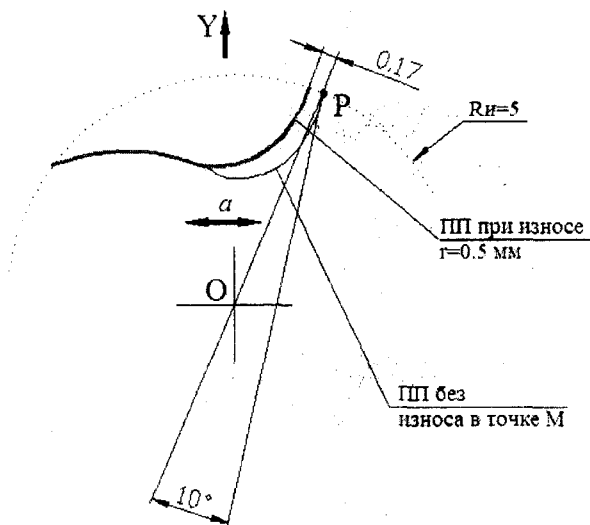


Рисунок 3 - Влияние на величину переднего угла γ износа шлифовального круга

Такой подход не компенсирует искажения переднего угла и соответственно не обеспечивает требуемого качества изготовления инструмента. Опираясь на многолетний опыт работы в действующем производстве, авторы считают, что целесообразней вводить коррекцию, используя дополнительную координату " α " [2].

Обобщая вышеизложенное можно сделать вывод о том, что необходимо учитывать фактический износ шлифовального круга, причем нецелесообразно использовать с этой целью аналитические зависимости – это очень сложно и не точно, поскольку износ шлифовальных кругов в точке М в виде радиуса округления, весьма условен.

Некоторые инструментальные фирмы предлагают компенсировать этот износ путем измерения датчиком касания реального положения режущей кромки и введения коррекции на угловое положение заготовки инструмента после формирования стружечных канавок. Для этого предлагается измерить положение точки Г от пересечения производящей и передней поверхностей и повернуть ее до вертикальной плоскости YOZ, а затем сформировать заднюю поверхность.

Процесс влияния износа шлифовального круга в точке М и величины коррекции, изучался авторами в условиях реального производства концевых твердосплавных фрез с диаметрами от 2 до 16 мм с числами зубьев от 2 до 6 и углами подъема спирали от 20° до 50° с применением алмазных шлифовальных кругов форм 1A1 (прямого профиля) и 1V1 (одноугловые) с диаметрами 100...125 мм. Эмпирически установлено, что величина коррекции составляет $\approx 2/3$ от величины радиуса износа

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобров, В. Ф. Основы теории резания металлов [Текст] / В.Ф. Бобров. - М.: «Машиностроение», 1975. - 344 с.: ил.
2. Протасьев, В.Б. Проектирование фасонных инструментов, изготавливаемых с использованием шлифовально-заточных станков с ЧПУ [Текст] / В.Б. Протасьев, В.В. Истоцкий. - М.: ИНФРА. - 128 с. - (Научная мысль).
3. Херн, Д. Компьютерная графика и стандарт OpenGL [Текст] / Д. Херн, М.П. Бейкер. - 3-е изд. - М.: Вильямс, 2005. - 1168 с.

Истоцкий Владислав Владимирович
Кандидат технических наук
Главный конструктор
Серпуховского инструментального завода
Тел.: +79105536681
E-mail: v_ist@mail.ru

Протасьев Виктор Борисович
Доктор технических наук, профессор
Тульский государственный университет
Тел.: +79531813852
E-mail: -

V.V. ISTOTSKIY, V.B. PROTASEV

ENSURE THE ACCURACY OF THE RAKE ANGLE IN THE MANUFACTURE END MILLS ON GRINDING MACHINES WITH CNC

The article examines the impact of wear on the grinding wheel size rake angles in the manufacture of end mills with small diameters (14 mm).

Key words: quality carbide end mills, CNC grinding machine, grinding wheel wear compensation

BIBLIOGRAPHY

- [1] Bobrov, V.F. Fundamentals of metal cutting theory [Text] / V.F. Bobrov. - M., "Mechanical Engineering", 1975. - 344 p.: ill.
- [2] Protasev, V.B. Design of shaped tools, which are produced using grinding CNC machine [Text] / V.B. Protasev, V.V. Istotskiy. - Moscow: INFRA-M, 2011 - 128 p. - (Scientific Thought).
- [3] Hearn, D. Computer graphics standard OpenGL [Text] / M.P. Baker. - 3rd ed. - M. Williams, 2005. - 1168 p.

Istotskiy Vladislav Vladimirovich
Candidate of Technical Sciences
Chief designer
Serpuhov tool plant
Тел.: +79105536681
E-mail: v_ist@mail.ru

Protasev Viktor Borisovich
Doctor of Technical Sciences, Professor
Tula State University
Тел.: +79531813852
E-mail: -

Н.С. КОВАЛЬ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ, УСТАНОВЛЕННЫХ В МНОГОМЕСТНОЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ПРИ ВИБРОУДАРНОЙ ОБРАБОТКЕ

Представлены результаты технологических испытаний опытной конструкции многоместного приспособления для виброударной упрочняющей обработки длинномерных деталей.

Ключевые слова: виброударная упрочняющая обработка, детали сложной формы, лонжерон лопасти рулевого винта вертолета.

Проведены технологические испытания опытного варианта приспособления для виброударной упрочняющей обработки (рисунок 1). Приспособление устанавливалось на торец рабочей камеры вибрационной установки УВГ-40, выдерживая расстояния от ее внутренних поверхностей 20-35 мм в поперечном и 40-50 мм в продольном направлении. Достигнутое положение фиксировалось затяжкой резьбовых соединений. В качестве рабочей среды использовались стальные полированные шары диаметром 7, 10 мм. Обработка осуществлялась при следующих режимах: амплитуда $A = 3,5$ мм, частота $f = 30$ Гц.

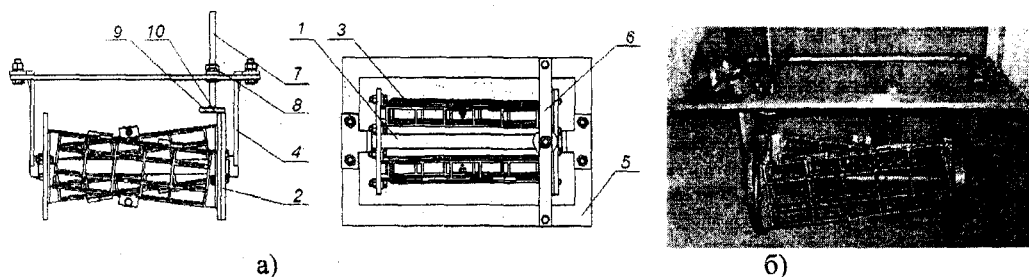


Рисунок 1 - Конструкция опытного приспособления: а) 1-вал; 2-диск; 3-отсек решетчатый; 4-стойка; 5-рама; 6-штанга; 7-винт 8-гайка; 9-башимак; 10- прокладка; б) общий вид

После начала работы станка наблюдается распределение по объему рабочей камеры загруженных шаров, их взаимодействие с наружными и внутренними поверхностями фрагментов лонжерона. Последние свободно устанавливаясь в решетчатые отсеки, образуют «лопасти», которые, взаимодействуя с рабочей средой (шарами), обеспечивали круговую подачу $S_{кр} = 0,4-0,5$ об/мин (в зависимости от количества подаваемой ТЖ и характеристики рабочей среды) [4].

При каждом полном обороте приспособления, свободно установленные фрагменты с закрепленными на их поверхностях образцами-свидетелями, проходили через все зоны рабочей камеры (рисунок 2).

В начальный период обработки, фрагменты лонжерона находятся на равном расстоянии относительно дна рабочей камеры (рисунок 2, а), при этом на характер их движения оказывают влияние циркуляция рабочей среды и силы тяжести, действующие на фрагменты лонжерона, расположенные в решетчатых отсеках. Вращение приспособления происходит главным образом за счет первого фактора. Свободно установленный фрагмент лонжерона, при выходе из среды шаров (рисунок 2, б) совершает колебания относительно отсека, в результате наблюдается частичное освобождение его внутренней полости от рабочей среды. Завершение процесса (рисунок 2, в), приводит к снижению массы фрагмента лонжерона и повышению скорости вращения приспособления. Погружение в обрабатывающую среду колеблющегося фрагмента лонжерона (рисунок 2, г) характеризуется его поджатием некоторым объемом шаров к поверхностям отсека, интенсивным заполнением внутренней полости ша-

рами и дальнейшим их перемещением вдоль обрабатываемых поверхностей образцов. Поворот приспособления осуществляется только после уравнивания масс отсеков относительно вала. Это объясняется тем, что силы тяжести фрагментов лонжерона разнонаправлены относительно циркуляции рабочей среды.

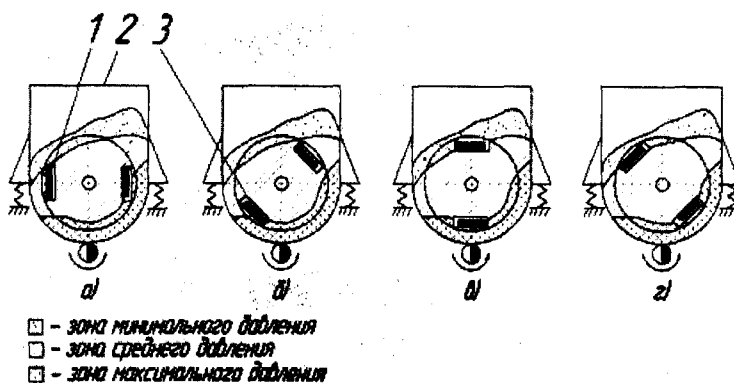


Рисунок 2 - Схема прохождения деталей через зоны давления рабочей среды при вращении приспособления: 1 – обрабатываемый фрагмент; 2 – рабочая камера; 3 – решетчатый отсек приспособления

Следует отметить, что фрагменты лонжерона 1, находясь в отсеках 2, расположенных под углом 7° относительно продольной оси рабочей камеры, совершали осевое перемещение в пределах зазора между торцами отсека, под действием вибрации и силы тяжести (рисунок 3). Причем при повороте приспособления направление движения фрагментов лонжерона и рабочей среды изменялось на противоположное.

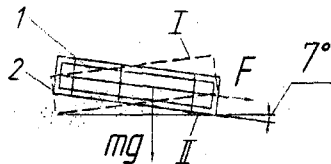


Рисунок 3 - Схема действия сил тяжести на деталь при свободной установке в решетчатом отсеке: 1 – фрагмент лонжерона с установленными образцами-свидетелями; 2 – отсек; I, II – положения отсека при вращении приспособления

Обработка закрепленных фрагментов лонжерона производилась с обеспечением их неподвижного положения при вращении относительно вала приспособления. Исключение колебаний и перемещений фрагментов лонжерона относительно отсеков приспособления обеспечивает снижение затрат кинетической энергии шаров, расходуемой на проворачивание приспособления, по сравнению с обработкой в свободном состоянии. При входе (выходе) закрепленных фрагментов из рабочей среды (рисунок 2, б, г) энергия шаров расходуется на поворот приспособления, в отличие от обработки в свободном состоянии, при которой определенный объем шаров, взаимодействуя с поверхностями фрагментов «поджимает» их к поверхностям решетчатых отсеков. Наблюдается так же более интенсивное транспортирование шаров через внутренние полости, благодаря исключению необходимости придания фиксированного положения фрагменту относительно отсека в осевом направлении. За счет рассмотренных особенностей процесса происходит ускорение проворачивания приспособления ($S_{кр} = 0,6$ об/мин). В целом характер движения деталей в рабочей камере аналогичен рассмотренному ранее.

Результаты проведенных технологических испытаний позволяют сделать следующие выводы:

1. Опытный образец многоместного приспособления целесообразно использовать для обработки деталей в фиксированном, закреплённом и свободном положениях.

2. Круговая подача Скр приспособления существенно зависит от следующих параметров и факторов:

- формы решетчатых отсеков, в которых размещаются фрагменты лонжерона с образцами-свидетелями;
- массы входящих в приспособление деталей, которая должна быть минимальной с целью уменьшения потерь кинетической энергии шаров;
- циркуляции рабочей среды, зависящей от соотношения длины, высоты и ширины рабочей камеры, характеристики используемой рабочей среды (диаметр стальных шаров) и уровня загрузки [1,2,3].

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабичев, А.П. Основы вибрационной технологии [Текст] / А.П. Бабичев, И.А. Бабичев. — Ростов-на-Дону: ДГТУ, 1999. — 620с
2. Бабичев, А.П. Применение вибрационных технологий для повышения качества и эксплуатационных свойств деталей [Текст] / А.П. Бабичев, П.Д. Мотренко. — Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2005. — 215 с.
3. Емцов, С.Е. Совершенствование процесса вибрационной отделочно-зачистной обработки нежестких деталей, штамповых из листовой нержавеющей стали [Текст] : дис... канд. техн. наук. — Ростов-на-Дону, 2001. - С. 186.
4. Коваль, Н.С. Разработка и исследование технологической системы "адресной" виброударной обработки деталей сложной формы (на примере использования вибрационных станков с прямоугольной формой рабочей камеры) : - дис. ...магистра — Ростов-на-Дону, 2010. - С. 142.

Коваль Николай Сергеевич

Донской Государственный Технический Университет, г. Ростов-на-Дону

Инженер-исследователь НИИ «Вибротехнология»

г. Ростов-на-Дону, ул. Королева 16/2 кв.58

тел: 89045027898

E-mail: Koval-nc@mail.ru

N.C. KOVAL

RESEARCH OF PARAMETERS OF MOVEMENT OF THE DETAILS ESTABLISHED IN THE MANY-PLACED ADAPTATION AT VIBROIMPACT TREATMENT

Results of technological tests of a skilled design of the many-placed adaptation for vibroimpact hardening treatment of lengthy details are presented.

Key words: vibroimpact hardening treatment, accommodation, details complex shape, spar blade tail screw helicopter

BIBLIOGRAPHY

- [1] Babichev, A.P. Basis of vibrating technology [Text] / A.P. Babichev, I.A. Babichev. — Rostov-on-Don: DSTU, 1999. — 620 p.
- [2] Babichev, A.P. Application of vibrating technologies for quality improvement and details operational properties [Text] / A.P. Babichev, P.D. Motrenko. — Rostov-on-Don: DSTU, 2005 — 215 p.
- [3] Yemtsov, S.E. Perfection of nonrigid details, stamping vibrating furnish-scraping process from sheet non-corrosive steel [Text] : dis. ... Cand. Tech. Sci. — Rostov-on-Don, 2001 — P. 186.

[4]Koval', N.S.Working and probe of technological system of "address" vibrating shock processing of details of the difficult form (on an example of use of vibrating machine tools with a squared shape of the working chamber) [Text] : - master's diss. — Rostov-on-Don, 2010 — P. 142.

Koval Nikolay Sergeevich

Don State Technical University, Rostov-on-Don

The engineer-researcher of scientific research institute "Vibrotechnologya"

Rostov-on-Don, Koroleva st. 16/2 ap.58

Phone: 89045027898

E-mail: Koval-nc@mail.ru

УДК 621.9.047.7

А.А. КОРОВИН, В.П. СМОЛЕНЦЕВ, И.Т. КОПТЕВ

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЛОКАЛЬНЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В статье рассматривается получение турбулизаторов в каналах охлаждения электрохимическим методом с новым подходом к управлению процессом формообразования их профиля, представлены результаты экспериментальных работ, подтверждающие теоретические заключения.

Ключевые слова: жидкостные ракетные двигатели; охлаждение; турбулизаторы; электрохимическая обработка; гидродинамика течения электролита.

ВВЕДЕНИЕ

Для интенсификации процесса проточного охлаждения в теплообменных аппаратах успешно применяют турбулизаторы, представляющие собой локальные выступы на поверхностях теплообмена, разрушающие пограничный ламинарный слой охлаждающей среды, и, тем самым, способствующие ускорению процесса теплообмена. Широкое применение нашли турбулизаторы в изделиях ракетной техники, особенно в конструкциях охлаждаемых узлов жидкостных ракетных двигателей (ЖРД).

Известно [1, 2], что форма турбулизаторов, при их одинаковом шаге и высоте, рассчитываемых, например по [1], практически не влияет на интенсивность теплообмена, значительно воздействуя на гидродинамическое сопротивление канала. Форма турбулизаторов с минимальным коэффициентом гидродинамического сопротивления на различных участках канала может быть разной, особенно если канал имеет криволинейную ось, переменное сечение, происходит газообразование при поверхностном закипании жидкого охладителя и т.д.

На наш взгляд, возможна разработка технологического процесса получения турбулизаторов в каналах охлаждения (в том числе узлов ЖРД) методом электрохимической обработки (ЭХО), при которой будет происходить имитация гидродинамических и фазовых режимов работы изделия, что позволит получать турбулизаторы оптимальной для данных режимов формы.

МЕТОД ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ С ИМИТАЦИЕЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ИЗДЕЛИЯ

В настоящей работе рассматривается метод электрохимической обработки турбулизаторов прямоугольной формы в канале охлаждения прямоугольного сечения, что соответствует применяемым каналам охлаждения узлов ЖРД.

На рисунке 1 представлен процесс ЭХО турбулизаторов прямоугольной формы в рассматриваемом канале.

В течение времени, необходимого для того, чтобы высота турбулизаторов, выполненных с некоторым припуском по высоте, стала равной расчетной, происходит обработка. При достижении расчетной величины высоты турбулизаторов процесс прекращают.

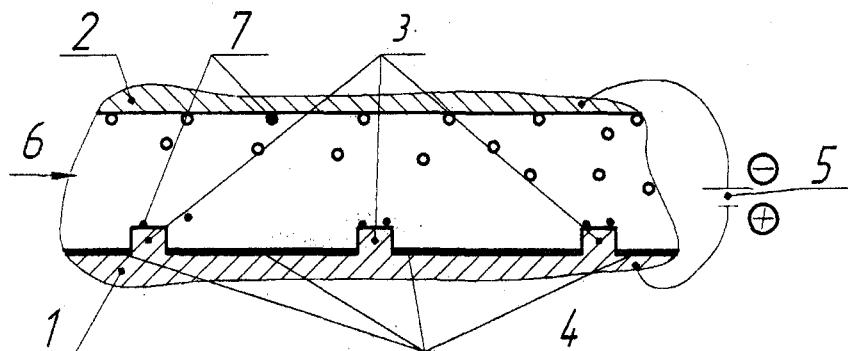


Рисунок 1 – Процесс обработки турбулизаторов методом ЭХО:

1 – пластина с турбулизаторами; 2 – металлическая пластина; 3 – турбулизатор; 4 – изоляция; 5 – источник тока; 6 – подача электролита; 7 – пузырьки газа

В процессе ЭХО по предложенной схеме процессы массопереноса в межэлектродном промежутке имеют значительное влияние на формообразование обрабатываемой поверхности. Такая зависимость соответствует модели третичного распределения тока. В таком случае важную роль имеет зависимость между массой продуктов, выделившихся в межэлектродном зазоре на участке обрабатываемой поверхности в единицу времени и массой частиц, которая может быть удалена с данного участка в единицу времени, что можно выразить критерием [3]:

$$\frac{dm_a}{dt} \leq \frac{dm_y}{dt}, \quad (1)$$

где m_a и m_y – соответственно масса выделившихся и удаленных с участка обрабатываемой поверхности продуктов обработки.

При установившемся режиме обработки из решения уравнения конвективной диффузии, полагая концентрацию продуктов обработки на входе в рабочую зону ($C_{вх.}$) и на аноде (C_a) постоянной, а диффундирующее с анода вещество не достигающим поверхности катода, можно определить градиент изменения концентрации в прианодной зоне [4]:

$$\frac{dC}{dy} = (C_{ах.} - C_a) \sum_1^{\infty} \frac{a_s}{h} \cdot e^{-\lambda_s \xi}, \quad (2)$$

где h – высота межэлектродного зазора; a_s , λ_s – постоянные; $\xi = \frac{k \cdot x}{k_1 \cdot h^4}$, где k – коэффициент диффузии; k_1 – коэффициент, зависящий от вязкости потока в прианодной зоне μ и градиента давления по длине обрабатываемой поверхности $\frac{dp}{dx}$ [4]:

$$k_1 = -\frac{1}{2 \cdot \mu} \cdot \frac{dp}{dx}, \quad (3)$$

Скорость электролита в зазоре по его высоте y может быть выражена через перепад давления, входящий в коэффициент k_1 [4]:

$$v_x = k_1 \cdot (h \cdot y - y^2). \quad (4)$$

При установившемся режиме правая часть выражения (1) при единичной ширине анода имеет вид [4]:

$$\frac{dm_y}{dt} = \rho_{n.o.} \cdot k_1 \cdot h^3 \cdot (C_{ax} - C_a) \sum_1^{\infty} \frac{a_s}{\lambda_s} \cdot (1 - e^{-\lambda_s \cdot x}), \quad (5)$$

где $\rho_{n.o.}$ – плотность продуктов обработки.

С учетом выражения (3) выражение (5) принимает вид:

$$\frac{dm_y}{dt} = -\rho_{n.o.} \cdot \frac{1}{2 \cdot \mu} \cdot \frac{dp}{dx} \cdot h^3 \cdot (C_{ax} - C_a) \sum_1^{\infty} \frac{a_s}{\lambda_s} \cdot (1 - e^{-\lambda_s \cdot x}). \quad (6)$$

Анализ выражения (6) показывает, что в процессе ЭХО турбулизаторов по предлагаемой схеме, их профиль будет формироваться в соответствии с распределением давления на их локальных участках. Такое распределение давления на локальных участках турбулизаторов можно определить с помощью моделирования и расчета методом конечных объемов процесса обработки (течения электролита) в компьютерной программе (рисунок 2).

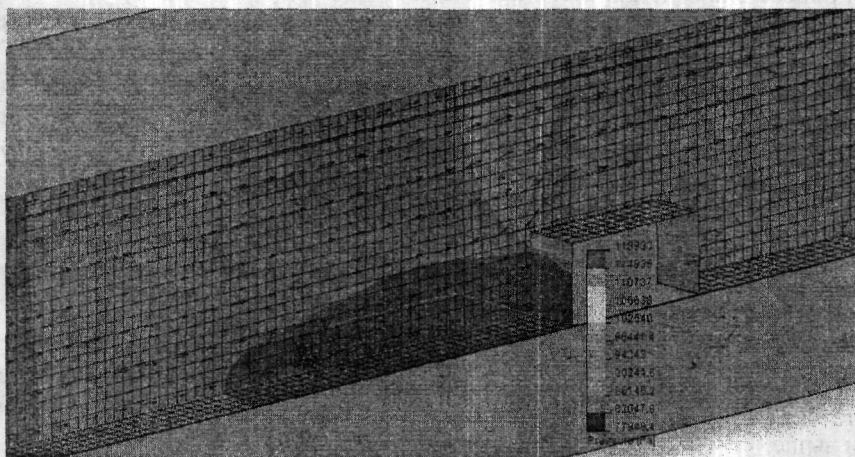


Рисунок 2 – Распределение давления жидкой рабочей среды в зоне турбулизатора

На рисунке 2 видно, что в передней зоне (со стороны подачи электролита) над верхней гранью турбулизатора имеется участок низкого давления. В данной зоне, из-за низкой интенсивности удаления продуктов обработки, съём металла за счет анодного растворения должен быть минимальным. На верхних ребрах турбулизатора в соответствии с представленным распределением давлений, должен происходить усиленный съём материала, причем переднее верхнее ребро должно приобретать форму с меньшим радиусом скругления, чем заднее. Таким образом, единственный турбулизатор, представленный на рисунке 2, в процессе ЭХО должен приобретать форму профиля, близкую к располовиненному профилю капли, имеющей, как известно, наименьший коэффициент гидродинамического сопротивления. Данное заключение подтвердилось в ходе экспериментальных работ, представленных ниже, причем в проводимом исследовании геометрические параметры канала с турбулизатором и гидродинамические параметры жидкости были заданы аналогичными соответствующим параметрам при моделировании, результаты которого представлены на рисунке 2.

Предлагаемый метод также позволяет проводить анализ влияния турбулизаторов на возможный режим работы изделия при кипении охладителя [1]. При этом необходимо использовать обратную полярность электродов относительно схемы, рассмотренной выше. Схема реализации такого процесса представлена на рисунке 3.

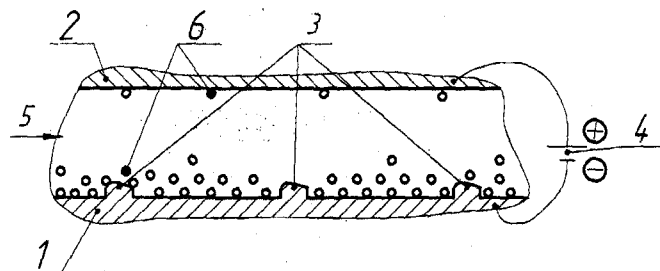


Рисунок 3 – Процесс анализа влияния турбулизаторов на возможный режим работы изделия при кипении охладителя:

1 – пластина с турбулизаторами; 2 – металлическая пластина; 3 – турбулизатор; 4 – источник тока; 5 – подача электролита; 6 – пузырьки газа

В процессе обработки, схема которой представлена на рисунке 3, полученный на первом этапе профиль турбулизаторов 3 не изменяется, т.к. металлическая пластина с турбулизаторами 1 является катодом, при этом на ней выделяется основная часть газа, что позволяет имитировать процесс охлаждения при кипении жидкости. Если изменение межэлектродного зазора за счет электрохимического растворения металлической пластины 2 будет существенным, то его можно компенсировать за счет организации сближения пластин 1 и 2.

Если наблюдения показывают, что при объеме газа, выделяющегося в ходе обработки, равном объему газа, выделяющегося при эксплуатации изделия, происходит образование газовой пленки [1], т.е. имеет место пленочный режим кипения охладителя, то необходимо принять меры для устранения данного явления, т.к. оно может привести к прогару «огневой» стенки при эксплуатации изделия.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ТУРБУЛИЗАТОРОВ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ МЕТОДОМ ИДЕНТИФИЦИРОВАННОЙ ЭХО

Экспериментальные исследования процесса формирования профиля турбулизаторов в процессе ЭХО проводились в соответствии с методикой и теоретическими заключениями, изложенными выше.

На рисунке 4, а показан образец пластины из стали 12Х18Н10Т с выступом-турбулизатором до обработки (вверху – линейка). Ширина пластины – 3 мм. Геометрические параметры турбулизатора: высота – 1,5 мм; длина – 3 мм. На рисунке 4, б показан имитатор участка канала охлаждения прямоугольного сечения с турбулизатором на одной стенке и прозрачными боковинами.

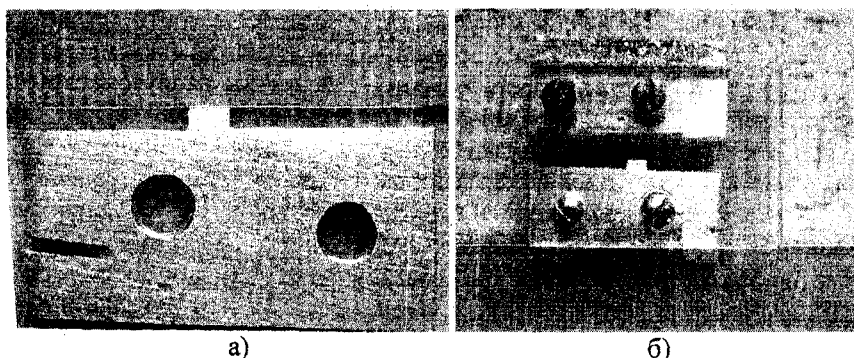


Рисунок 4 – Образец пластины с турбулизатором (а) и имитатора участка канала охлаждения узла ЖРД с прозрачными боковинами для наблюдения за процессом (б)

Процесс ЭХО турбулизатора по предлагаемой схеме представлен на рисунке 5.

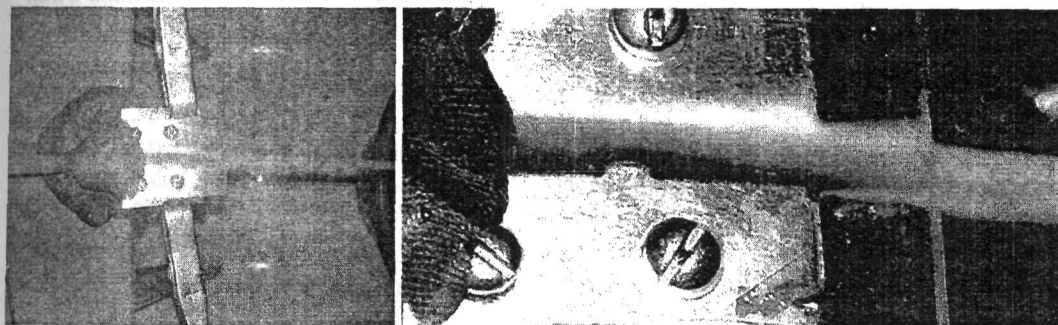


Рисунок 5 – Процесс обработки турбулизатора методом ЭХО

Полученная в результате ЭХО форма профиля турбулизатора представлена на рисунке 6.

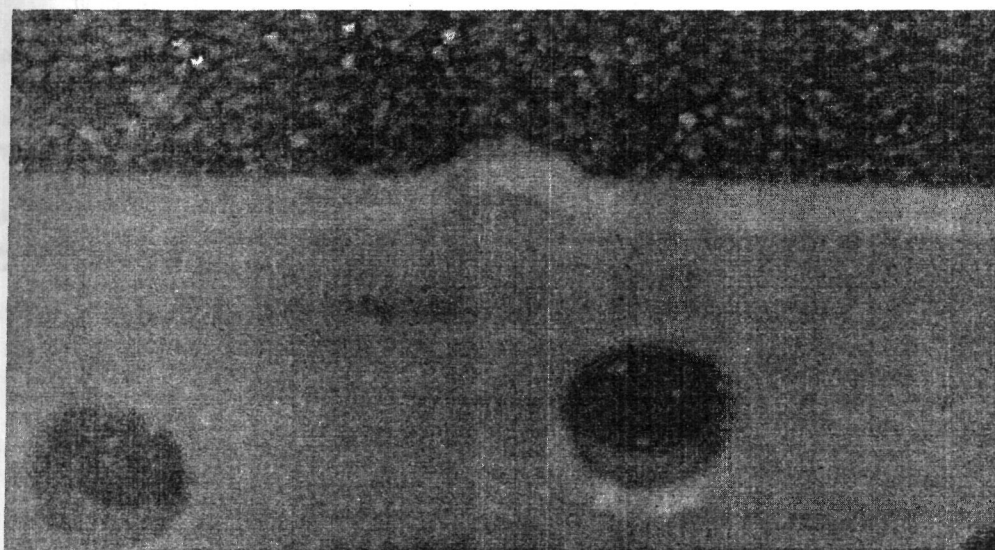


Рисунок 6 – Полученный в результате ЭХО профиль турбулизатора

Таким образом, в результате описанной экспериментальной работы из турбулизатора с прямоугольной формой профиля в процессе ЭХО получен турбулизатор с плавной формой профиля, соответствующей профилю располовиненной вдоль оси капли. Это подтверждает представленный механизм формообразования при ЭХО.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в статье описан механизм процесса формирования профиля турбулизаторов при ЭХО с идентификацией гидродинамических параметров течения рабочих сред, а также идентификацией фазового состава. Описан механизм оценки влияния турбулизаторов и их профиля на процесс охлаждения при закипании охладителя. Представлены экспериментальные исследования процесса идентифицированной ЭХО, доказывающие теоретические заключения.

Представленные данные позволяют проектировать технологические процессы получения турбулизаторов оптимальной формы электрическими методами.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы теории и расчета жидкостных ракетных двигателей [Текст]: учебник / А.П. Васильев, В.М. Кудрявцев, В.А. Кузнецов [и др.]; под ред. В.М. Кудрявцева. – 3-е изд., испр. и доп. - М.: Высш. школа, 1983.
2. Калинин, Э.К. Интенсификация теплообмена в каналах / Э.К. Калинин, Г.А. Дрейцер, С.А. Ярхо [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990.
3. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов [Текст]: учеб. пособие (в 2-х томах.). Т.1. Обработка материалов с применением инструмента / под ред. В.П. Смоленцева. – М.: Высш. шк., 1983.
4. Смоленцев, В.П. Технология электрохимической обработки внутренних поверхностей [Текст] / В.П. Смоленцев. - М., «Машиностроение», 1978.

Коровин Артем Александрович
Воронежский государственный
технический университет,
г. Воронеж
Аспирант
тел. 8-904-212-64-43
E-mail: ccorvinartem@mail.ru,

Смоленцев Владислав Павлович
Воронежский государственный тех-
нический университет,
г. Воронеж
Доктор технических наук, профессор

Коптев Иван Тихонович
Воронежский государственный
технический университет,
г. Воронеж
Кандидат технических наук, про-
фессор

A.A. KOROVIN, V.P. SMOLENTSEV, I.T. KOPTEV

ELECTROCHEMICAL MACHINING IN THE MANUFACTURE OF LOCAL HEAT TRANSFER ELEMENTS

The article considers the making of turbulence promoters in the cooling channels of an electrochemical method with a new approach to managing the process of shaping their profile, and the results of experimental work in this direction.

Keywords: liquid-propellant engine; cooling; turbulence promoter; electrochemical machining; hydrodynamics of the flow of electrolyte.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Fundamentals of the theory and design of liquid rocket engines [Text] : textbook / A.P. Vasilyev, Kudryavtsev V., Kuznetsov V.A. [and others]; ed. V.M. Kudryavtseva. - 3rd ed., Rev. and add. M.: Higher. School, 1983.
- [2] Kalinin, E.K. The intensification of heat exchange in channels [Text] / E.K. Kalinin, G.A. Dreitzer, S. Yarkho. - Third. ed., revised. and add. - Moscow: Mashinostroenie, 1990.
- [3] Electrophysical and electrochemical methods of processing materials [Text] : textbook. Assistance (2 vols.). T.I. Materials processing with the use of the tool / Ed. V.P. Smolentsev. - M.: Higher. wk., 1983.-208 p., ill.
- [4] Smolentsev V.P. The technology of electrochemical machining of internal surfaces [Text] / V.P. Smolentsev. - M., "Engineering", 1978.

Korovin Artem Aleksandrovich
Voronezh state technical university,
Voroneg
Post-graduate student
Tel. 8-904-212-64-43
E-mail: ccorvinartem@mail.ru

Smolentsev Vladislav Pavlovich
Voronezh state technical university,
Voroneg
Doctor of technical sciences, Profes-
sor

Koptev Ivan Tihonovich
Voronezh state technical university,
Voroneg
Candidate of technical sciences, Pro-
fessor

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРИМЕНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СРЕД ДЛЯ ВИБРАЦИОННОЙ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

Представлены виды органических сред, их технологические возможности и область их применения в технологии обработки деталей.

Ключевые слова: органическая среда, вибрационная обработка

Анализ обрабатывающих сред, получивших применение в технологических процессах вибрационной обработки, [1], позволяет их классифицировать по различным признакам, в частности, по первоначальной природе, структуре, типу и формам частиц, по технологической применимости. В зависимости от первоначальной природы, как показано на рисунке 1 все обрабатывающие среды разделяются на две основные группы: среды неорганического происхождения (природные и синтетические) и среды органического происхождения.

В составе группы обрабатывающих сред неорганического происхождения по первоначальной природе можно выделить основные четыре вида (рисунок 1):

- минералы натуральные природные, такие как доломит, кварц, байкалит и т.д., имеющие гомогенную изменчивую кристаллическую структуру; этой же подгруппе могут быть отнесены расплавленные натуральные окислы (шлак, корунд, глинозём);
- среды, формованные на керамической или полимерной основе, имеющие агломерированную абразивную синтетическую структуру; это, как правило, абразивные гранулы различной формы и размеров (призмы, конусы и другие);
- металлические обработанные и полированные элементы, имеющие моногенную структуру в виде стальных и других материалов, шариков, цилиндров и т.д.;
- стекловидные, в виде стеклянных и фарфоровых шариков.

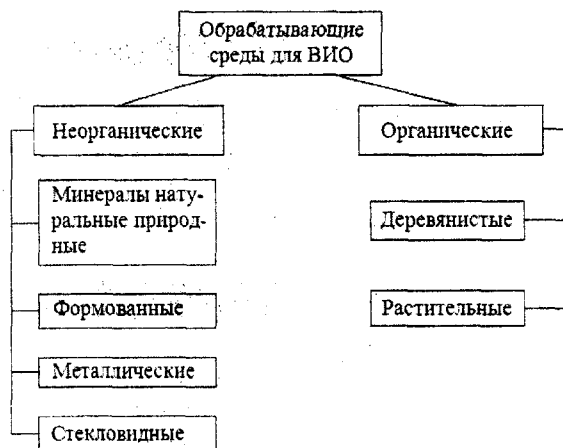


Рисунок 1 - Классификация обрабатывающих сред для ВАО по первоначальной природе

Эта группа обрабатывающих сред достаточно фундаментально научно исследована и широко используется в вибрационных технологиях обработки деталей на операциях удаления заусенцев, скругления острых кромок, шлифования, очистки от окалины, полирования, отделки, упрочнения.

Вторая группа обрабатывающих сред – среды органического происхождения, представленные на рисунке 2, имеют деревянистую или растительную структуру.

Эти среды можно классифицировать по трем семействам: - косточки фруктов; - элементы из дерева; - дробленые гранулы початковых растений (рисунок 3).

Однако следует отметить, что целенаправленных научных исследований в области технологического применения сред органического происхождения для отделки деталей не проводилось. Вместе с тем, примеры их использования на практике имеют место. В частности, для выполнения операций сушки на ООО «Сантарм», ОАО «Азовский оптико-механический завод» используют древесные опилки. С целью отделки столовых ложек на ООО «Скопинский машиностроительный завод» применяют древесные кубики с добавлением полировальных паст. На Мелитопольском моторном заводе внедрена линия виброотделки деталей, предусматривающая их вибропротирку гранулами маиса.

Выше приведённые примеры, а также результаты предварительных экспериментальных исследований, проведённые в НИИ «Вибротехнология» по обработке косточками фруктов образцов из различных материалов (рисунок 4), позволяют судить об области предпочтительного применения сред органического происхождения в технологических процессах вибрационной обработки – это отделка, полировка, вибропротирка.

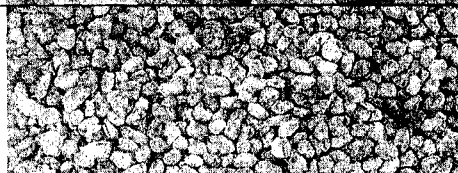
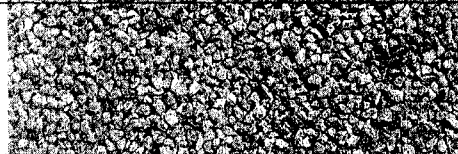
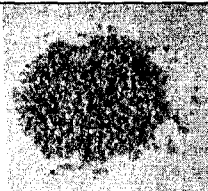
	Деревянные кубики (5×5 мм)
	Деревянные колышки (5×23 мм) Кубики и колышки используются при сухой шлифовке и полировке
	Маис (2 – 3 мм). Используется при сухой полировке
	Корка ореха (1,7 – 2,4 мм). Используется для сухой шлифовки и полировки
	Корка ореха (0,8 – 1,3 мм). Используется для полировки
	Косточки плодовых деревьев. Используются для шлифовки и полировки
	Измельченные стебли кукурузы. Используются для протирки деталей

Рисунок 2 - Разновидности сред органического происхождения

Специфика этой группы обрабатывающих сред обусловлена растительным происхождением, в результате чего их физико-механические и биолого-химические свойства формируются в процессе созревания и последующей переработки и хранения. В отличие от неорганических сред они обладают меньшей твёрдостью, массой, не имеют абразивной составляющей, в результате чего характеристики динамического состояния органической среды, формообразующие и энергетические свойства имеют более низкие показатели по сравнению с виброобработкой деталей природными и синтетическими средами при аналогичных амплитудно-частотных характеристиках процесса.



Рисунок 3 - Классификация сред органического происхождения по семействам и применяемости в вибропротирке

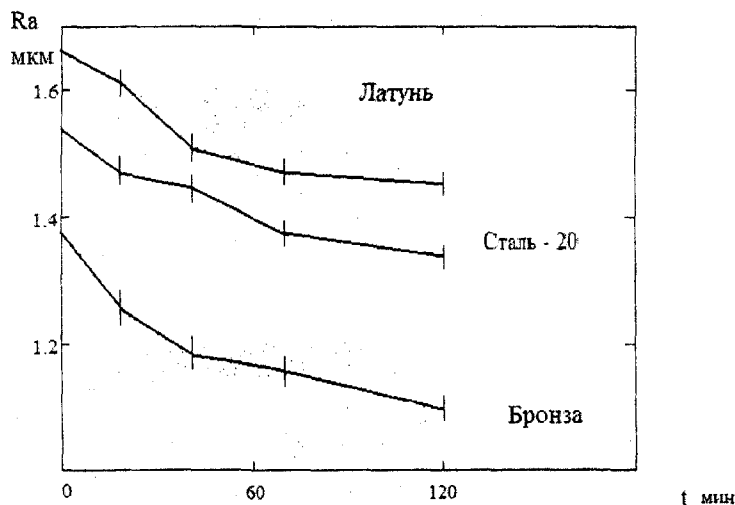


Рисунок 4 - Экспериментальные исследования изменения шероховатости в зависимости от продолжительности обработки косточками фруктов (вишня) ($A = 3 \text{ мм}$, $f = 30 \text{ Гц}$)

Эти особенности органических обрабатывающих сред, с учётом присущих им общих закономерностей протекания процесса в условиях виброобработки, предопределяют их технологическое назначение на операциях финишной отделки маложёстких, высокоточных деталей гидроаппаратуры, электротехнических изделий, медицинских инструментов, изделий бытового назначения, а также на операциях, обеспечивающих как подготовку поверхностей для нанесения антикоррозионных и других специальных покрытий, так и улучшения качества уже сформированных на поверхности покрытий.

Каждый вид семейства выделенных в группе органических сред в силу их растительной природы имеет свои особенности и требует проведения специальных научных исследований с целью обоснования их практического применения в технологии виброобработки. Кроме того, очень важно подчеркнуть, что применение обрабатывающих сред органического происхождения в технологических целях позволит рационально использовать отходы производства, занимающихся переработкой сельхозпродукции.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабичев, А.П. Основы вибрационной технологии [Текст] / А.П. Бабичев, И.А. Бабичев. - Ростов-на-Дону, издательский центр ДГТУ, 2008. - 694 с.

Крупеня Евгений Юрьевич
Азовский технологический институт
(филиал) ДГТУ, г. Азов,
Кандидат технических наук,
Заведующий кафедрой «Сервис и
техническая эксплуатация
автотранспортных средств»
Тел. 89094402121
E-mail: va.lebidev@yandex.ru

Лебедев Валерий Александрович
Донской государственный технический
университет, г. Ростов-на-Дону
Кандидат технических наук, профессор,
профессор кафедры «Технология
машиностроения»
Тел. (863)2738-360
E-mail: va.lebidev@yandex.ru

Филипчук Ольга Сергеевна
Азовский технологический институт
(филиал) ДГТУ, г. Азов,
студентка факультета «Технология
машиностроения»
Тел. 89094402121
E-mail: va.lebidev@yandex.ru

E.Y. KRUPENYA, V. A. LEBEDEV, O.S. FILIPCHUK

TECHNOLOGICAL PRE-CONDITIONS OF APPLICATION OF ORGANIC ENVIRONMENTS FOR OSCILLATION FINISHING TREATMENT OF DETAILS

The types of organic environments, their technological possibilities and their application domain, are presented in technology of treatment of details.

Keywords: organic environment, oscillation treatment

BIBLIOGRAPHY

[1] Babichev, A.P. Bases of oscillation technology [Text] / A.P. Babichev, I.A. Babichev. - Rostov-on-Don, publishing center DGTU, 2008. - 694 p.

Krupenya Eugen Yur'evich
the Azovskiy technological institute
(branch) of DGTU, Azov,
Candidate of engineering sciences,
Manager by a department
«Service and technical exploitation of
vehicles»
Тел. 89094402121
E-mail: va.lebidev@yandex.ru

Lebedev Valery Alexander
the Don state technical
university, to Rostov-on-Don
Candidate of engineering sciences,
professor,
professor of department «Technology
of engineer»
Тел. (863)2738-360
E-mail: va.lebidev@yandex.ru

Filipchuk Olga Sergey
the Azovskiy technological institute
(branch) of DGTU, Azov,
Тел. 89094402121
E-mail: va.lebidev@yandex.ru

Е.А. ПОЛЬСКИЙ, Л.А. ПОТАПОВ, Д.В. НОВИКОВ

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАЗМЕРНО-ТОЧНОСТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ
ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ИЗДЕЛИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ НА
МНОГОЦЕЛЕВОМ ОБОРУДОВАНИИ**

В статье приводятся исследования по оптимизации проведения размерно-точностного анализа технологического процесса обработки изделия по критериям повышения коэффициента использования материала и минимизации затрат на механическую обработку.

Ключевые слова: размерные цепи, размерный анализ, точность, технологичность

Совершенство конструкции машины характеризуется ее соответствием современному уровню техники, экономичностью и удобством в эксплуатации, а так же тем, в какой мере учтены возможности использования наиболее экономичных и производительных технологических методов ее изготовления применительно к заданному выпуску и условиям производства.

Конструкцию машины, в которой эти возможности полностью учтены, называют технологичной. По установленной терминологии под термином «технологичность конструкции изделий» (ТКИ) понимается совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ. Как правило, чем лучше отработана конструкция изделия на технологичность, тем меньше затрат труда всех видов требуются для производства, эксплуатации и ремонта этого изделия.

Разработка нового изделия – сложная задача, при решении которой конструктор должен не только обеспечить высокий технический уровень и эксплуатационные свойства этого изделия, но и в полной мере учесть требования производства, то есть обеспечить его технологичность. Таким образом, отработка конструкций изделий на технологичность должна производиться совместно разработчиками конструкторской и технологической документации, предприятиями-изготовителями изделия и представителями заказчика (специалистами по техническому обслуживанию и ремонту техники). Ответственными же исполнителями отработки конструкций изделий на технологичность являются разработчики именно конструкторской документации. При простановке размеров деталей конструктор должен учитывать последующую обработку для того, чтобы обеспечить снижение припуска, уменьшение себестоимости и таким образом повышение технологичности изделия.

Если требования производства в процессе проектирования и простановки размеров детали учитываются в недостаточной мере, то при изготовлении и восстановлении деталей возникают затруднения, которые удлиняют сроки подготовки производства и могут вызвать дополнительную потребность в технологической оснастке и привести к увеличению трудоемкости, что в конечном итоге приведет к увеличению себестоимости продукции [1].

В настоящее время задачи обеспечения технологичности изделий могут быть решены на качественно новом уровне с использованием интегрированных систем автоматизации проектирования (САПР). Применение этих систем неразрывно связано с CALS – современными информационными технологиями для интеграции процессов, выполняющихся в ходе всего жизненного цикла продукции и ее компонентов. В основе CALS лежит использование комплекса единых информационных моделей, стандартизация способов доступа к информации и ее корректная интерпретация на всех этапах жизненного цикла изделия, в том числе на этапе технической подготовки производства. Поэтому очевидно, что обеспечение технологичности изделий, являясь одной из задач подготовки производства, должно также рассматриваться в контексте применения CALS-технологий.

В формализованном виде процесс обеспечения технологичности изделия можно представить как воздействие на множество параметров точности размеров изделия $X=\{x_1, \dots, x_n\}$,

которое приводит к достижению экстремальной цели при соблюдении сформулированных ограничений вида $g_i(X) = 0$ и $h_j(X) \geq 0$ [2].

$$Q(X) \rightarrow \underset{X \in S}{extr} \quad (1)$$

$$S: \begin{cases} g_i(X) = 0, & i = \overline{1, I}; \\ h_j(X) \geq 0, & j = \overline{1, J}, \end{cases}$$

где Q, g, h - функции, которые определяются исходя из требований точности размеров изделия и разнообразных производственных, эксплуатационных и ремонтных факторов, влияющих на технологичность изделий.

Правила обеспечения технологичности взаимосвязанных деталей определяют технологическую рациональность конструкторских решений. Одним из инструментов определения рациональности являются анализ и синтез размерных связей. Качество машиностроительной продукции в огромной степени обуславливается точностью машин, во-первых, заложенной на этапе проектирования изделия и, во-вторых, обеспечиваемой во время его изготовления. Одним из направлений сокращения сроков освоения и улучшения качества выпускаемых машин является широкое применение в практике конструирования расчетных принципов определения качественных показателей изделий. Эти показатели (надежность, долговечность, наработка на отказ и другие) в значительной мере зависят от правильного выбора характера сопряжения, допусков размеров, формы и расположения поверхностей или элементов деталей. Поэтому важной задачей, решаемой в процессе проектирования машин, является установление связей между геометрическими характеристиками машины и ее служебным назначением и разработка норм точности на отклонение этих характеристик [3].

Каждое изделие при подготовке производства проходит этапы конструкторско-технологической подготовки. Эти этапы включают в себя с точки зрения простановки размеров решение двух основных задач. Первая задача связана с обеспечением точности замыкающего звена сборочной размерной цепи путем назначения (расчета) номинальных размеров и предельных отклонений всех деталей сборочной единицы (изделия). На стадии разработки технологического процесса механической обработки конкретной детали сборки решается задача определения (расчета) номинальных значений, допусков и предельных отклонений технологических операционных размеров, проставляемых на технологических эскизах и необходимых для подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ. При разработке технологических процессов механической обработки технологю приходится решать технологические размерные цепи (в случае, когда необходимо отступить от конструкторской простановки размеров). Тщательная проработка технологии подразумевает проведение размерного анализа всего технологического процесса, т.е. решение взаимосвязанных размерных цепей, включающих в качестве звеньев как размеры, так и межпереходные припуски на обработку и «пронизывающих» весь технологический процесс. В этом случае гарантируется отсутствие «черновин» на детали, выхода размеров из границ допусков и, в конечном итоге, получение качественного изделия.

Если конструктор определяет основные размерные характеристики с определенным «запасом прочности», т.е. назначая (рассчитывая) размерные характеристики деталей, входящих в сборочную единицу, ориентируется на табличные значения допусков и посадок, то технолог решает задачу с определенным «коэффициентом риска», проектируя технологический процесс с оптимизацией целого ряда решений. При этом, оптимизируется как общая структура технологического процесса (структурная оптимизация), так и состав операций и технологических переходов (параметрическая оптимизация).

Размеры и поверхности детали, для обеспечения установленной надежности узла, должны быть прорегламентированы и получены с требуемыми, экономически и конструктивно обоснованными, точностью и качеством. Анализ параметров точности изделия, проведенный на основе требований технологичности, позволяет значительно упростить маршрут процесса обработки. Тщательный анализ конструкторских размерных цепей позволяет зна-

чительно расширить жесткие допуски, назначенные иногда без достаточного основания. Пересмотр допусков и посадок часто упрощает не только обработку, но и сборку.

Уровень технологичности конструкции и размеров изделия K_y определяется как отношение достигнутого показателя технологичности к значению базового показателя, заданного в техническом задании [3]:

$$K_y = \frac{K}{K_b} \quad (2)$$

Целевая функция управления процессом разработки изделия по заданным показателям ТКИ может быть представлена в формализованном виде [4]:

$$Y(Q, Q_b) \rightarrow \underset{Q \in S}{extr} \quad (3)$$

где Q , Q_b - значения соответственно достигнутого и базового показателей технологичности изделий; S - область допустимого изменения показателя технологичности.

Для повышения технологичности детали необходимо выбрать наиболее технологичную схему простановки ее размеров. Следовательно, при оценке уровня технологичности простановки размеров необходимо учитывать, что они определяются:

- функцией, выполняемой проектируемой деталью в изделии, т.е. содержат конструкторские базы, которые выбираются с учетом сопрягаемых поверхностей на основе сборочного чертежа;
- множеством элементов области применения и производства детали, т.е. содержат технологические базы, которые выбираются в зависимости от принятого технологического процесса обработки;
- множеством номинальных размеров проектируемой детали, т.е. содержат измерительные базы.

Другими словами, необходимо выявить, как зависят показатели технологичности детали от различных сочетаний баз размеров.

Следовательно, на этапе конструкторской подготовки для снижения себестоимости изготовления деталей [5] и, как следствие, повышения технологичности деталей, необходимо проставлять размеры и выбирать базы таким образом, чтобы обеспечивалась возможность использования более высокопроизводительных методов обработки.

Наряду с вышесказанным, при любой первоначально заданной на чертежах системе размеров в процессе разработки технологических операций или их осуществления базы простановки размеров могут быть изменены в соответствии с принятым методом обработки и назначением технологических баз.

Однако, при необходимости сохранения заданных на чертеже допусков это неизбежно ведет к уменьшению допусков на обработку.

Более технологичной является простановка размеров на чертежах, которая предусматривает условия технологического процесса и тем самым исключает необходимость обрабатывать детали по существенно уменьшенным технологическим допускам.

Из проведенного анализа влияния применяемых методов простановки размеров в ходе конструкторской подготовки производства на технологичность конструкции деталей можно сделать вывод, что для повышения технологичности необходимо решить задачу оптимизации простановки размеров. При решении данной задачи необходимо учитывать рекомендации по выбору и последовательности смены технологических баз, соответствие точности выполнения размера и метода механической обработки, особенности формирования минимального припуска для цепей, где припуск является замыкающим звеном и требования по точности размеров заготовок, получаемых различными методами. Это приводит к повышению сложности расчетов и необходимости введения математических методов, учитывающих многовариантность принимаемых решений – экспертные системы на основе неявных множеств.

Теория нечетких множеств представляет собой обобщение и переосмысление важнейших направлений классической математики. У ее истоков лежат идеи и достижения мно-

гозначной логики, которая указала на возможности перехода от двух к произвольному числу значений истинности и поставила проблему оперирования понятиями с изменяющимся содержанием: теории вероятностей, которая, породив большое количество различных способов статистической обработки экспериментальных данных, открыла пути определения и интерпретации функции принадлежности; дискретной математики, которая предложила инструмент для построения моделей многомерных и многоуровневых систем, удобный при решении практических задач.

Модель размерной структуры технологического процесса механической обработки в виде совокупности графа размерной структуры G и некоторого множества конструктивных, технологических, структурных и экономических условий оптимальности ТП U выглядит так:

$$M = \{G, U\}.$$

В рассмотренных в первой главе методиках размерного анализа и расчёта размерных цепей размерная структура техпроцесса представлялась в двух основных видах: в виде размерной схемы и в виде размерного графа, объединяющего размеры детали, заготовки и техпроцесса

$$G = \{G_{дет}, G_{заг}, G_{тех}\},$$

где $G_{дет}$ - граф конструкторских размеров детали, $G_{заг}$ - граф конструкторских размеров исходной заготовки, $G_{тех}$ - граф технологических размеров и припусков ТП механической обработки.

Рассмотрим граф размерной структуры ТП. Он представляет собой совокупность размерных связей, которые с позиции оптимизации размерной структуры ТП можно разделить на изменяемые и неизменяемые.

К неизменяемым размерным связям отнесём:

- конструкторские размеры (в размерной структуре они не могут быть изменены без изменения чертежа детали, согласованного с конструктором),
- припуски (они могут быть изменены только при изменении плана обработки),
- размеры исходной заготовки (они могут измениться только при изменении чертежа исходной заготовки, связанного с изменением технологии ее получения).

Количество неизменяемых размерных связей в графе

$$n_n = n_k + n_n + n_z,$$

где n_k - количество конструкторских размеров; n_n - количество припусков; n_z - количество размеров исходной заготовки.

К изменяемым размерам отнесем технологические размеры, выполняемые на операциях технологического процесса, их простановка изменяется при изменении технологических и измерительных баз на операциях [6].

Погрешность обработки – параметр, зависящий (при неизменных планах обработки поверхностей) от оборудования и оснастки. Он влияет на выбор допусков технологических размеров и определяет экономическую эффективность ТП. Для его учёта создадим для каждой типовой размерной структуры матрицу средне-экономических допусков (СЭД) на основе матрицы размерной структуры

$$M_{сэд} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & \dots & T_{1k} \\ T_{21} & T_{2j} & \dots & T_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ T_{k1} & T_{k2} & \dots & T_{kk} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где T_{ij} - средне-экономический допуск технологического размера между i -той и j -той поверхностями, если с i -той поверхности снимается припуск, а j -тая используется в качестве измерительной базы.

Часть ограничений учитывается при построении матрицы типовой размерной структуры ТП, для учета остальных на основе $M_{сэд}$ создаем матрицу точности и свойств поверх-

ностей (ТСП), записывая в матрице экономических допусков нули вместо допуска для тех случаев, когда простановка размера между поверхностями не возможна:

$$M_T = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & \dots & t_{1k} \\ t_{21} & t_{2j} & \dots & t_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ t_{k1} & t_{k2} & \dots & t_{kk} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где $t_{ij}=T_{ij}$ из (4), если между поверхностями возможна простановка размера на технологической операции, и $t_{ij}=0$, если невозможна.

Для математической модели запишем

$$M = \{M_{TPC}, M_{PC}, M_T\}.$$

Таким образом, данная модель размерной структуры технологического процесса механической обработки учитывает все технологические, конструкторские и экономические факторы. Кроме того, выявлены ограничения модели и параметры оптимизации модели, что позволяет в дальнейшем перейти к комплексной оптимизации описанной модели.

Следовательно, минимально возможное количество составляющих размеров во всех размерных цепях

$$\min \sum N = n_k + 2n_n.$$

Разработанная математическая модель размерной структуры позволяет получить такой комплексный критерий. Поскольку в матрицах ТРС, РЦ ТСП уже заложены конструкторско-технологические ограничения, то остается учесть часть структурных и экономических факторов при расчете критерия оптимальности модели размерной структуры ТП. Для этого в формулу необходимо ввести коэффициент увеличения трудоемкости при назначении допуска на операцию точнее средне-экономического. Информация о составляющих размерных цепях ТП заложена в матрице размерных цепей, о конструкторско-технологических ограничениях – в матрице ТРС и составляемой по ней матрице ТСП.

По формулам (1) и (5)

$$Q = 1/2 \sum_{i=1, j=1}^{k, k} \left(c_{ij} e_{ij} t_{ij} \sum_{u=1}^{k-1} |b_{(ij)u}| \right), \quad (6)$$

где $1/2$ - коэффициент, учитывающий дублирование размерных связей в матрице ТРС; k - количество узлов графа размерной структуры (равно размерности матрицы ТРС); $c_{ij}=2^{k-y}$ - коэффициент увеличения трудоемкости при ужесточении средне-экономического допуска (по существующим нормативам при увеличении точности на качество (К-Ку), увеличивается в 2 раза); $e_{ij}=1000/L_{ij}$ - коэффициент приведения точности (равен обратной величине единицы допуска, приведенной к мм), $1/\text{мм}$; t_{ij} - коэффициент из матрицы ТСП, мм; $b_{(ij)u}$ - коэффициент матрицы размерных цепей, соответствующий a_{ij} из матрицы РС.

Критерий Q учитывает комплекс конструкторско-технологических и структурных ограничений матрицы точности и свойств поверхностей, экономических факторов целевой функции, при этом является безразмерной величиной, не изменяющей физического смысла.

Предложена концепция автоматизированной подсистемы технологической подготовки производства, обеспечивающая определение конструктивных размеров и корректировку точности функциональных размеров отдельных деталей по критериям повышения технологичности конструкции при оптимизации простановки технологических размеров для различных вариантов реализации операций механической обработки (выбор схемы установки заготовки, настройка станков различных типов на обеспечение требуемой точности конструкторских размеров). На основе предложенной концепции разработана программа реализации размерно-точностного анализа с модулем оптимизации структуры размерных связей для повышения технологичности конструкции детали (рисунок 1).

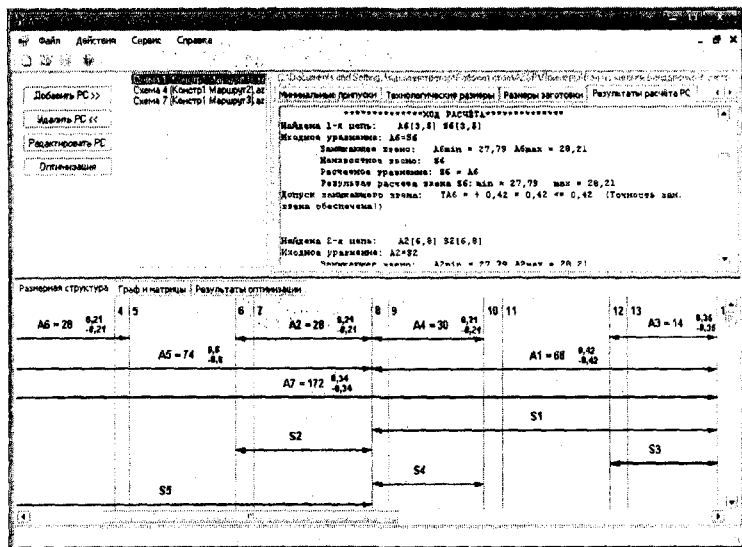


Рисунок 1 - Окно поиска наиболее оптимальной схемы простановки размеров

Предложенная структура автоматизированной подсистемы обеспечения технологичности деталей на основе анализа и синтеза размерных связей, удовлетворяющая принципам построения САПР позволит повысить эффективность обработки изделий на технологичность в условиях применения современных CAD/CAE-систем, а так же выявить и определить технологические настроечные размеры для формирования управляющих программ для станков с ЧПУ при использовании САМ-систем.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.Чернов, Л.Б. Основы методологии проектирования машин [Текст] : учебное пособие для вузов / Л.Б. Чернов. – М.: Машиностроение, 1978. – 148 с.
- 2.Соловьев, В.К. Графическая автоматизированная система проектирования операционных технологических процессов "ГАСПОТ-ЭКСПРЕСС" [Текст] / В.К.Соловьев. - Уфа: УГАТУ - 108 с.
- 3.Проблемы технологичности конструкций изделий машиностроения [Текст] : материалы Всесоюзной научн.- техн. конф. - под ред. Ю.Д. Амирова, В.Л. Михельсона-Ткача. – М.: Издательство стандартов, 1976. – с.144.
4. Костромин, К. SolidEdge Intergraph - система твердотельного моделирования [Текст] К. Костромин // Открытые системы. – 1997. – №2. – С.33-36.
- 5.Голдфельд, М.Х. Применение теории графов к задаче синтеза размерной структуры технологического процесса механической обработки [Текст] / М.Х. Голдфельд. – Челябин. политехн. ин-т. Челябинск, 1982. – 32 с.
- 6.Huang, M.F. Dimensional and geometrical tolerance balancing in concurrent design [Text] / M.F. Huang, Y. Zhong // Int J Adv Manuf Technol. – 2008. – №35. – Pp. 723–735.

Польский Евгений Александрович
ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет», г. Брянск
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технология машиностроения»
E-mail: polski.eugene@gmail.com

Потапов Леонид Алексеевич
ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет», г. Брянск
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Промышленная электроника и электротехника»

Новиков Денис Викторович
ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет», г. Брянск
Магистрант кафедры «Технология машиностроения»

E.A. POLSKI, L.A. POTAPOV, D.V. NOVIKOV

AUTOMATION OF CARRYING OUT RAZMerno-TOCHNOSTNOGO OF THE ANALYSIS FOR INCREASE OF ADAPTABILITY TO MANUFACTURE OF THE PRODUCT AT PROCESSING ON THE MULTI-PURPOSE EQUIPMENT

Researches on optimization of carrying out are given in article dimensional the analysis of technological process of processing of a product by criteria of increase of efficiency of a material and minimization of expenses for machining.

Keywords: dimensional chains, dimensional analysis, accuracy, adaptability to manufacture

BIBLIOGRAPHY

- [1]Chernov, L.B. Basis of methodology of designing of cars: the Manual for high schools [Text] / L.B. Chernov. – M: Mechanical engineering, 1978. – 148 p.
- [2]Solovyev, V.K. The graphic automated system проектирования operational technological processes "GASPOТ-EXPRESS TRAIN" / V.K.Solovyev. - Ufa: UGATU - 108 c.
- [3]Problems of adaptability to manufacture of designs of products of mechanical engineering: Materials All-Union science-technical forum : Under the editorship of JU.D.Amirov, V.L.Mihelsona-Tkacha. – M.: Standards Publishing House, 1976. – P.144.
- [4]Kostromin, K SolidEdge Intergraph - system of solid-state modeling [Text] // Open systems. – 1997. – №2. – P.33-36.
- [5]Goldfeld, M. H. Application of the theory of counts to a problem of synthesis of dimensional structure of technological process of machining [Text] – Cheljab. polytechn. In. Chelyabinsk, 1982. – 32 p.
- [6]Huang, M.F. Dimensional and geometrical tolerance balancing in concurrent design [Text] / M.F. Huang, Y. Zhong // Int J Adv Manuf Technol. – 2008. – №35. – Pp. 723–735.

Polski Evgenie Aleksandrovich
FGBOU ВПО «Bryansk state technical university», Bryansk
Cand.Tech.Sci., the senior lecturer,
the senior lecturer of chair «Technology of mechanical engineering»
E-mail: polski.eugene@gmail.com

Potapov Leonid Alekseevich
Bryansk state technical university,
Bryansk
Dr.Sci.Tech., the professor managing
chair «Industrial electronics and the
electrical engineer»

Novikov Denis Viktorovich
Bryansk state technical university,
Bryansk
The undergraduate of chair «Technology of mechanical engineering»

УДК 621.7

Е.В. СМОЛЕНЦЕВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ТИПОВЫХ ПРОЦЕССОВ

В статье рассматривается методика проектирования комбинированных методов обработки (КМО) с наложением электрического поля применительно к типовым технологиям машиностроения. Показана и обоснована возможность управления внешними факторами для достижения показателей, наиболее точно отвечающих требованиям разработчиков и заказчиков

Ключевые слова: комбинированные методы, внешние воздействия, технология

ВВЕДЕНИЕ

Комбинация воздействий в едином методе с интенсификацией их электрическим полем позволяет получать технологии с показателями, отвечающими мировым требованиям к конкурентоспособным производствам.

Опыт использования электрических и, в том числе, комбинированных методов обработки, накопленный научными школами Тулы, Уфы, Казани, Воронежа, Ростова на Дону, Рыбинска, Москвы, Санкт-Петербурга (Ленинграда), Новочеркасска, Кишинева, Брянска, Орла в авиационной и космической отрасли, транспортном и энергетическом машиностроении показывает, что создание современной техники возможно, если шире применять нетра-

диционные методы обработки [2]. В свою очередь, переход на качественно новый уровень создания современных изделий требует научно обоснованной методологии проектирования новых технологических процессов с использованием предельных возможностей каждого воздействия и их сочетаний, что требуется учитывать при создании оборудования, средств технологического оснащения в процессе разработки новых изделий на всех этапах жизненного цикла изделий.

В Воронежском государственном техническом университете была разработана методология ускоренного обоснованного выбора вариантов физических воздействий в КМО при помощи положений теории делового конфликта, создана модель выхода из конфликтной ситуации при реализации новых многопараметрических технологических систем [3].

Разработанные модели позволили перейти к созданию методики проектирования типовых технологий комбинированной обработки деталей с направленным использованием различных воздействий

Показатели практически используемых методов обработки, определяет некоторая совокупность внешних и внутренних факторов, на базе которых можно комбинировать нетрадиционные гибкие технологии.

К внутренним факторам относятся физико-механические характеристики (наклеп поверхности; хрупкость материала; сочетание материалов инструмента и детали) и свойства обрабатываемого материала (состав; структура; температура плавления; отражательная способность и т.д.). Очевидно, что большинство их является неотъемлемым свойством детали и не может корректироваться в целях повышения технологических показателей процесса. Исключением служит наклеп и отражательная способность поверхности, которые можно изменять в довольно широких пределах. Однако такие вариации недостаточны для эффективного управления процессом.

В качестве внешних факторов можно рассматривать внешние физические воздействия: механическое постоянное; химическое; тепловое; механическое импульсное. Магнитные и ядерные составляющие, на данном этапе развития исследований не оказывают заметного влияния на технологии [1], поэтому их можно не принимать во внимание.

Из сказанного следует, что направленное управление процессом целесообразно осуществлять через внешние факторы. Связь между технологическими показателями и внешними воздействиями показана в виде комплекса, где возможно сочетание различных элементов [1]:

$$\begin{aligned} \text{Pr} &\supset (\text{M}, \text{X}, \text{Mn}, \text{Mu}, \text{Tn}, \text{Я}, \text{MX}, \text{MMn}, \text{MMu}, \text{MTn}, \text{МЯ}, \text{XMn} \dots) \\ \text{Пг} &\supset (\text{M}, \text{X}, \text{Mn}, \text{Mu}, \text{Tn}, \text{Я}, \text{MX}, \text{MMn}, \text{MMu}, \text{MTn}, \text{МЯ}, \text{XMn} \dots) \\ \text{Rz} &\supset (\text{M}, \text{X}, \text{Mn}, \text{Mu}, \text{Tn}, \text{Я}, \text{MX}, \text{MMn}, \text{MMu}, \text{MTn}, \text{МЯ}, \text{XMn} \dots) \\ \text{T} &\supset (\text{M}, \text{X}, \text{Mn}, \text{Mu}, \text{Tn}, \text{Я}, \text{MX}, \text{MMn}, \text{MMu}, \text{MTn}, \text{МЯ}, \text{XMn} \dots) \\ \text{Gi} &\supset (\text{M}, \text{X}, \text{Mn}, \text{Mu}, \text{Tn}, \text{Я}, \text{MX}, \text{MMn}, \text{MMu}, \text{MTn}, \text{МЯ}, \text{XMn} \dots) \\ \text{U} &\supset (\text{M}, \text{X}, \text{Mn}, \text{Mu}, \text{Tn}, \text{Я}, \text{MX}, \text{MMn}, \text{MMu}, \text{MTn}, \text{МЯ}, \text{XMn} \dots) \\ \text{Э} &\supset (\text{M}, \text{X}, \text{Mn}, \text{Mu}, \text{Tn}, \text{Я}, \text{MX}, \text{MMn}, \text{MMu}, \text{MTn}, \text{МЯ}, \text{XMn} \dots), \end{aligned}$$

где производительность Pr , погрешность Пг , шероховатость Rz (или другой показатель), глубина измененного слоя T , механические свойства обработанного материала Gi (или другой показатель), износ инструмента U , удельный расход электроэнергии Э зависят от магнитного M , химического X , механического постоянного Mn и импульсного Mu , теплового Tn , ядерного Я воздействия и их сочетаний.

При ограниченной изученности взаимного влияния внешних воздействий построение полной математической модели оптимизации комбинированных процессов едва ли возможно. Однако, при определенных допущениях, оптимизация выбора внешних воздействий осуществима. В комплексах необходимо сохранить те воздействия, которые значимы для технологического показателя. При этом каждое из них может иметь множество технологических приложений.

Для магнитного воздействия (М) характерно отсутствие прямого влияния на показатели, но его присутствие изменит динамические характеристики абразивных частиц при механическом шлифовании, особенно на труднодоступных для инструмента участках. Возможно, что подобное влияние может обнаружиться и при других сочетаниях воздействий, когда количество составляющих будет 2 и более (например МХМп, МТпХМу). Для ядерного воздействия (Я) известно положительное влияние на тепловые процессы (например, на производительность электроконтактной резки в воздушной среде) и на усталостную прочность деталей, обработанных электрохимическим методом.

Для некоторых воздействий следует учесть инвариантность приложений. Например, тепловые факторы определяют технологические показатели всех видов лучевой и электроэрозионной обработки, которых в настоящее время известно и изучено не менее 7. Большое количество приложений имеет механическая обработка в комбинированных процессах.

При оценке значимости внешних воздействий приходится исходить из достигнутого уровня знаний и разделить факторы на следующие группы, присвоив им соответствующие индексы (v).

1. Воздействия, которые непосредственно не влияют на технологические показатели и могут не учитываться в комплексах (v=1).

2. Воздействия, которые существенно влияют на технологические показатели и должны быть учтены при их формировании (v=2).

3. Воздействия, которые изучены и в сочетаниях не влияют на технологические показатели (v=3).

Если v=3

$$M_3 \dots \notin \text{Пр} \dots$$

$$M_2 X_3 \dots \supset M_2 \in \text{Пр} \dots$$

$$M_3 X_2 M n_2 \dots \supset X_2 M n_2 \in \text{Пр} \dots$$

$$M_3 X_3 \dots \in \text{Пр} \dots$$

4. Воздействия, которые изучены и в сочетаниях влияют на технологические показатели (v=4).

Если v= 4

$$M_3 X_4 M n_4 \dots \supset X_4 M n_4 \dots \in \text{Пр} \dots$$

$$M_3 X_4 \dots \supset X_4 \dots \in \text{Пр} \dots$$

$$M_3 X_4 M n_4 \dots \supset X_4 M n_4 \dots \in \text{Пр} \dots$$

5. Сочетания, которые не изучены, но имеются аналоги для качественной оценки их влияния на технологические показатели (v=5).

Если v=5

$$M_5 X_4 \dots \in \text{Пр} - \text{при положительном воздействии,}$$

$$M_5 X_4 \dots \notin \text{Пр} - \text{при отсутствии или отрицательном воздействии сочетания на показатели.}$$

6. Сочетания, которые не изучены и неизвестно их влияние на показатели (v=6). Здесь следует провести дополнительные исследования, простейшим из которых будет многофакторный эксперимент, позволяющий дать количественную оценку сочетаний. После чего их используют в комплексах по аналогии с v = 5.

Для каждого технологического показателя (Пр, Пг и др.) вводятся ограничения, показывающие направления поиска комбинированных процессов. Ограничения могут быть следующие:

1. Один или несколько технологических показателей комбинированного процесса должны иметь предельное значение. Это возможно, если взаимное влияние внешних воздействий незначительно. Присвоим этому ограничению индекс $S=1$.

2. Часть показателей не являются значимыми для комбинированного процесса, но их следует сохранить на прежнем уровне или ограничить изменение в заданном интервале. К ним может относиться один или несколько показателей качества поверхности, механических свойств, расход энергии (в случае формообразования миниатюрных поверхностей). Индекс $S=2$.

3. Часть показателей нет смысла учитывать или их значения несут незначительны для комбинированного процесса. Примером может служить оптимизация износа инструмента, который для электрохимической размерной и лазерной обработки отсутствует, или показатели качества и механические характеристики детали при создании эрозионнохимического способа удаления сломанного инструмента. Индекс $S=3$. Тогда комбинированный процесс (КП) можно записать в виде

$$\text{КП} \supset (\text{Prs}, \text{Prs}, \text{Rzs}, \text{Ts}, \text{Gis}, \text{Us}, \text{Эс})$$

Здесь: если $S = 1$ $\text{Pr}_1 \dots \text{Э}_1 \in \text{КП}$,

если $S = 2$ - технологический показатель контролируют после формирования КП,

если $S = 3$ $\text{Pr}_3 \dots \text{Э}_3 \notin \text{КП}$.

Таким образом, КП рассматривается, как комплекс технологических показателей с индексом $S = 1$.

Если заявленные требования к комбинированному процессу затрагивают технологические показатели, в которых значения энергетических показателей имеют одно направление (к максимальному или минимальному значению), то возможно проектирование оптимального комбинированного процесса. В случае появления противоположного воздействия следует выбрать приоритетные технологические показатели или внести ограничения на их предельные изменения.

Следующим этапом формирования комплексов является выбор технологических приложений. При этом могут быть следующие случаи:

1. Известное технологическое приложение способствует достижению заданных технологических показателей ($m = 1$), и его следует принять адекватным всему воздействию.

Если $m = 1$

$$\begin{aligned} X_1 &\supset \text{ЭХО}_1 \in \text{Пр} \dots \text{Э} \\ &\vdots \\ T_n &\supset \text{ЭЭО}_1, \text{СЛО}_1 \in \text{Пр} \dots \text{Э} \\ &\vdots \\ \text{ЭЭО}_1 &\supset \text{ЭУсО}_1, \text{ЭИмО}_1, \text{ЭКОЖ}_1, \text{ЭКОВ}_1 \in \text{Пр} \dots \text{Э} \\ &\vdots \end{aligned}$$

Здесь ЭХО – электрохимическая обработка; СЛО – светолучевая обработка; ЭИмО – электроимпульсная обработка; ЭКОЖ – электроконтактная обработка в жидкости; ЭКОВ – электроконтактная обработка на воздухе

2. Известное технологическое приложение не способствует положительному результату при создании комбинированного процесса ($m=2$).

Если $m = 2$

$$\begin{aligned} \text{ЭХО}_2 &\notin \text{Пр}, \text{Пр} \dots \text{Э} \\ &\vdots \\ \text{ЭЭО}_2 &\notin \text{Пр}, \text{Пр} \dots \text{Э} \\ &\vdots \end{aligned}$$

3. Известные технологические приложения оказывают как положительное ($m=3$) так и отрицательное или незначительное ($m=4$) воздействие на комбинированный процесс. В качестве базы для сравнения применено резание металлическим инструментом.

Если $m=3$, $m=4$

$$\begin{aligned} M_4 &\notin \text{Пр} \dots \text{Э}; \\ \text{ЭХО}_3 &\in \text{Пр, Пр, Rz, T, Gi}; \\ \text{ЭХО}_4 &\notin \text{U, Э}; \end{aligned}$$

$$\text{УЗО}_3 \in \text{Пр, T, U, Э}$$

$$\text{УЗО}_4 \notin \text{Пр, Rz}$$

4. Не установлено технологических приложений, способствующих достижению заданных технологических показателей комбинированного процесса. Тогда исходя из характера известных воздействий, необходимо сформировать несколько новых сочетаний, изучить недостающие показатели и сформировать новый комбинированный процесс или дать ограничения по достижению требуемых технологических показателей.

С учетом известных технологических показателей комбинированный процесс может быть представлен в виде комплекса

$$\text{КП} \supset (\text{М, ЭХО, УЗО, У, ИЛО, ЭЛО, СЛО, ЭИсО, ЭИМО, ЭКОЖ, ЭКОВ}) \Big|_{S=1},$$

где УЗО – ультразвуковая размерная обработка; У- ультразвук; ИЛО – ионнолучевая обработка; ЭЛО – электронно-лучевая обработка.

При проектировании КМО должны быть учтены следующие ограничения:

- если $S=1$, то задано предельное значение технологического показателя;
- при $S=2$ показатель не меняется или изменяется незначительно;
- в случае $S=3$ – показатель не существует.

Тогда структура комбинированного процесса (КП) может быть представлена в форме

$$\text{КП} \supset (\text{Прs, Прs, Rzs, Ts, Gis, Us, Эs}),$$

где если $S=1$, то $\text{Пр}_1 \dots \text{Э}_1 \in \text{КП}$; если $S=3$, то $\text{Пр}_1 \dots \text{Э}_1 \notin \text{КП}$.

С учетом ограничений формируются условия оптимизации процесса

$$\begin{aligned} \text{Пр} &= F(W_1 \eta_1 + W_2 \eta_2 + W_3 \eta_3 \dots) \rightarrow \max, \\ \text{Пр} &= F(U_1 + U_2 + U_3 \dots) \rightarrow \min, \\ \text{Rz, T} &= F(W \Big|_{\text{Мп, Му, Тп min}} + W \Big|_{\text{М, X max}}) \rightarrow \min, \\ G_i &= F(\text{Rz, T})_{\min} \rightarrow \max, \\ U &= F(\sum W_i) \Big|_{\min}^{\max} \rightarrow \min, \\ \text{Э} &= F(\eta_1, \eta_2, \eta_3 \dots) \Big|_{\max} \rightarrow \min, \end{aligned}$$

где W_i – мощность i воздействия;

η_i – КПД i воздействия.

Полученные результаты во всех случаях следует проанализировать на предмет вредного воздействия на жизнедеятельность человека. Если это имеет место и после всех охраняемых мероприятий процесс не укладывается в допустимые пределы, то следует выявить воздействия, вызывающие нежелательный эффект, предложить пути их устранения. В случае отрицательного результата необходимо найти адекватную замену вредного воздействия из числа известных или вновь разрабатываемых технологических приложений.

ВЫВОД

Предложенная методика позволяет сформировать научно обоснованный подход к проектированию комбинированных технологических процессов с наложением электрических полей. При этом достигается структуризация воздействий, т.е. создание оптимальной структуры КМО, отвечающей требованиям, заложенным в техническом задании и соответствующей возможностям, имеющимся у разработчиков КМО. Проведенное исследование позволя-

ет формировать новые процессы обработки в которых необходимые технологические показатели будут находиться на максимальном уровне, а нежелательные – сведены к минимуму. Таким образом можно будет существенно расширить возможности разработчиков при создании высокотехнологичной, наукоемкой и конкурентоспособной продукции, востребованной во всем мире.

По мере изучения различных видов воздействий на объект будут появляться новые нетрадиционные технологические методы, которые послужат базой для создания перспективных комбинированных процессов.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смоленцев, Е.В. Проектирование электрических и комбинированных методов обработки [Текст] : монография / Е.В. Смоленцев. - М.: Машиностроение, 2005 - 511 с.
2. Григорьев, С.Н. Технология обработки концентрированными потоками энергии [Текст] : учебное пособие / С.Н., Григорьев, Е.В. Смоленцев, М.А. Волосова. - Старый Оскол: ТНТ, 2009 - 278 с.
3. Смоленцев, Е.В. Проектирование технологического процесса электроэрозионно-химической обработки [Текст] / Е.В. Смоленцев // Металлообработка. - № 6. – 2008. – С.34-39.
4. Смоленцев, Е.В. Разработка классификатора комбинированных методов обработки [Текст] / Е.В. Смоленцев // Вестник ДГТУ. - №1. – 2010. – С. 76-80.

Смоленцев Евгений Владиславович

Кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет»

Тел.: 8-910-746-40-75

E-mail: smolentsev.rabota@gmail.com

E.V. SMOLENTSEV

DESIGNING OF COMBINED TREATMENT FOR TYPICAL FLOWS

This article shows design procedure of combined treatment with superposition of electric fields for typical flows in manufacturing engineering. Possibility of management of external influences for approaching recent technological characteristics required for developers and their customers is shown and justified

Key words: combined treatment, external influences, technology

BIBLIOGRAPHY

- [1]Smolentsev, E.V. Designing of electrical and combined methods of treatment [Text] / E.V. Smolentsev. - Moscow: Mashinostroenie, 2005 – 511 p.
- [2]Grigoriev, S.N. Technology of treatment of concentrated energy flows [Text] / S.N. Grigoriev, E.V. Smolentsev, M.A. Volosova. - Stariy Oskol: TNT, 2009 – 278 p.
- [3]Smolentsev, E.V. Designing of technological process of electroerosive chemical treatment [Text] / E.V. Smolentsev // Metalloobrabotka. - №6. – 2008. – Pp. 34-39.
- [4]Smolentsev, E.V. Designing of classification of combined methods of treatment [Text] / E.V. Smolentsev // Vestnik DSTU. - №1. – 2010. – Pp. 76-80

Smolentsev Evgeniy Vladislavovich

Candidate of technical Sciences, associate professor

Voronezh State Technical University

Phone: +7-910-7464075

E-mail: smolentsev.rabota@gmail.com

Г.В. САНАМЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ГОРЯЧЕГО НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

В работе осуществляется получение эмпирической математической модели усилия резания при фрезеровании горячего наплавленного металла в процессе его нанесения с применением математического планирования эксперимента.

Ключевые слова: наплавка, металл, фрезерование, модель, сила, эксперимент, скорость, глубина, подача, доверительный интервал.

На современном этапе развития машиностроения физико-механические характеристики конструкционных материалов машин и механизмов возрастают столь быстро, что инструментальные материалы, которыми располагает производство, в большинстве случаев не позволяют осуществлять их высокопроизводительную механическую обработку. Особенно это характерно в ремонтном производстве при обработке деталей, восстановленных наплавкой высокопрочными износостойкими материалами. Обработка указанных деталей характеризуется удалением относительно большого припуска, обусловленного значительным дефектным слоем и геометрией наплавленного материала. В связи с отмеченным, при обработке наплавленных материалов возникают значительные силы резания и вибрации, что приводит к снижению качества обработанной поверхности, интенсивному износу и хрупкому разрушению режущего инструмента. В итоге вследствие занижения режимов резания падает производительность обработки и возрастает ее себестоимость.

Эффективным методом повышения технико-экономических показателей обработки наплавленного металла является обработка его в горячем состоянии. Наибольший эффект при этом достигается в результате совмещения в одной технологической операции процессов наплавки и фрезерования. Отличительной особенностью такого технологического процесса является нагрев детали теплом сварочной дуги. Согласно многочисленным исследованиям, установившаяся температура обрабатываемого металла при наиболее часто используемых режимах наплавки лежит в пределах 770...830 °С [1]. Фрезерование металла в этих условиях требует меньших усилий резания, в результате чего стойкость фрезы значительно возрастает, улучшаются показатели параметров качества поверхностного слоя деталей. Вместе с тем в современной технической литературе не встречаются аналитические зависимости, позволяющие рассчитать усилие резания в зависимости от режимов обработки в отмеченном диапазоне температур.

Целью исследований является получение эмпирической математической модели сил резания при фрезеровании горячего наплавленного металла.

Обработку цилиндрических деталей производили на установке, обеспечивающей совмещение процессов наплавки и фрезерования горячего наплавленного металла в единой технологической схеме [1]. Наплавлялась деталь диаметром 60 мм пружинной проволокой 2-го класса под легированным флюсом. Частота вращения детали 3 мин⁻¹, продольная подача фрезы S_f равна шагу наплавки S_n . Деталь обрабатывалась торцевой фрезой диаметром 100 мм, оснащенной твердосплавными пластинами Т15К6. Геометрия рабочей части фрезы: главный угол в плане $\varphi = 72^\circ$; вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 0^\circ$; криволинейная переходная кромка $r = 2$ мм; передний угол $\gamma = -7^\circ$; задний угол $\alpha = 7^\circ$; задний угол на вспомогательной режущей кромке $\alpha_1 = 11^\circ$; угол наклона режущей кромки $\lambda = 11^\circ$.

При проведении исследований исходили из того, что общая структура формулы для расчета силы резания в зависимости от режимов фрезерования описывается уравнением [2, 3]:

$$P_z = cV^m S^p t^n, \quad (1)$$

где c – постоянный коэффициент;
 V – скорость резания, м/мин;
 S – продольная подача фрезы, мм/об;
 t – глубина резания, мм;

m, p, n – значения показателей степеней.

Уравнение (1) является исследуемой математической моделью. После логарифмирования и введения членов, учитывающих взаимодействие факторов, уравнение (1) примет вид:

$$\tilde{y} = b_0 + b_1 \tilde{x}_1 + b_2 \tilde{x}_2 + b_3 \tilde{x}_3 + b_{12} \tilde{x}_1 \tilde{x}_2 + b_{23} \tilde{x}_2 \tilde{x}_3 + b_{13} \tilde{x}_1 \tilde{x}_3 + b_{123} \tilde{x}_1 \tilde{x}_2 \tilde{x}_3, \quad (2)$$

где y – значение выходного фактора P_z в логарифмическом масштабе;

$\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \tilde{x}_3$ – логарифмы соответственно V, S, t ;

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{23}, b_{13}, b_{123}$ – коэффициенты уравнения.

Для получения искомого линейного уравнения был поставлен полный факторный эксперимент 2^3 .

Значения исследуемых факторов представлены в таблице 1. Матрица планирования экспериментов приведена в таблице 2. Значения экспериментальных замеров сил резания представлены в таблице 3.

Таблица 1 – Значения переменных факторов V, S, t

Уровень факторов	V , м/мин	S , мм/об	t , мм
Верхний (+)	283,3	4,2	1,0
Нижний (–)	157,6	3,0	0,3

Таблица 2 – Матрица планирования экспериментов 2^3

№	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_2 x_3$	$x_1 x_3$	$x_1 x_2 x_3$
1	+	–	–	–	+	+	+	–
2	+	–	+	–	–	–	+	+
3	+	–	–	+	+	–	–	+
4	+	–	+	+	–	+	–	–
5	+	+	–	–	–	+	–	+
6	+	+	+	–	+	–	–	–
7	+	+	–	+	–	–	+	–
8	+	+	+	+	+	+	+	+

Преобразование независимых переменных x_i в безразмерные производили при помощи уравнения [4]:

$$x_i = \frac{2(\tilde{x}_i - \tilde{x}_{\max})}{\tilde{x}_{i\max} - \tilde{x}_{i\min}} + 1.$$

После подстановки x_i вместо $\tilde{x}_i$ в уравнение (2) результаты проведенных опытов будут представлены математической моделью в виде уравнения регрессии, имеющего вид:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{23} x_2 x_3 + b_{13} x_1 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3. \quad (3)$$

Коэффициенты регрессии $b_1 \dots b_3$ характеризуют влияние каждого фактора, $b_{12}, b_{23}, b_{13}, b_{123}$ – эффект взаимодействия двух и трех факторов.

Таблица 3 – Результаты экспериментальных исследований усилия резания

№	Параметр оптимизации P_z , Н			P_z , Н
	P_{z1}	P_{z2}	P_{z3}	
1	2	3	4	5
1	383	363	367	371
2	499	480	473	484
3	703	696	734	711
1	2	3	4	5
4	992	938	944	958
5	150	157	161	156
6	206	210	220	212
7	297	319	311	309
8	425	399	418	414

Коэффициент регрессии определяли по формуле [4]:

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^n x_j \ln \tilde{y}_v}{n},$$

где $i = 0, 1, 2, \dots$ – номер столбца матрицы;

v – номер опыта по матрице, проведенного в независимых условиях,

т. е. номер строки;

n – общее количество опытов;

$\tilde{y}_v$ – средний отклик по r опытам в точке с номером v .

$b_0 = 5,962$; $b_1 = -0,421$; $b_2 = 0,145$; $b_3 = 0,336$; $b_{12} = 0,0044$;

$b_{23} = 0,002261$; $b_{13} = 0,002441$; $b_{123} = -0,005812$.

Построчные дисперсии, характеризующие ошибку опыта, определяли по формуле:

$$S_v^2 = \frac{\sum_{j=1}^r (\ln \tilde{y}_{vj} - \ln \tilde{y}_v)^2}{r-1},$$

где r – число повторных опытов в точках плана;

j – номер повторного опыта;

$S_{v1}^2 = 8,03 \cdot 10^{-4}$; $S_{v2}^2 = 7,645 \cdot 10^{-4}$; $S_{v3}^2 = 7,981 \cdot 10^{-4}$; $S_{v4}^2 = 9,391 \cdot 10^{-4}$;
 $S_{v5}^2 = 1,287 \cdot 10^{-3}$; $S_{v6}^2 = 1,143 \cdot 10^{-3}$; $S_{v7}^2 = 1,312 \cdot 10^{-3}$; $S_{v8}^2 = 1,071 \cdot 10^{-3}$.

Сумма значений S_{vi}^2 равна:

$$\sum_{v=1}^n S_{i-8}^2 = 8,12 \cdot 10^{-3}.$$

Дисперсия параметров оптимизации:

$$S^2\{y\} = \frac{\sum_{v=1}^n S_v^2}{n} = 1,015 \cdot 10^{-3}. \quad (4)$$

Дисперсия коэффициентов регрессии:

$$S^2\{b_i\} = \frac{S^2\{y\}}{n \cdot r} = 4,228 \cdot 10^{-5}, \quad S\{b\} = 6,503 \cdot 10^{-3}. \quad (5)$$

Из (5) видно, что дисперсии всех коэффициентов равны друг другу, т. к. они зависят только от ошибки и числа опытов.

Для проверки однородности дисперсий воспользуемся критерием Кохрена:

$$G = \frac{S_{v\max}^2}{\sum_{v=1}^n S_v^2} = 0,162.$$

Для $f_{G\max} = 2$, $f_{zn} = N = 8$ степеней свободы и уровня значимости 0,05 по таблице [4] критическое значение $G_{кр} = 0,68$. Принимаем гипотезу об однородности дисперсий, т. к. $G < G_{кр}$.

Проверка значимости коэффициентов модели b_i уравнений регрессии производилась по t – критерию Стьюдента, равному:

$$t_i = \frac{|b_i|}{S\{b_i\}}.$$

По таблице [4] при $n(r-1)=16$ степенях свободы и уровне значимости 0,05, критическое значение критерия Стьюдента $t_{кр} = 2,12$. Если $t_i > t_{кр}$, то гипотеза отвергается и коэффициент b_i признается значимым, в противном случае b_i считается статистически незначимым, т. е. $b_i = 0$.

$$t_0 = 916,855 > t_{кр}; \quad t_1 = 64,67 > t_{кр}; \quad t_2 = 22,362 > t_{кр}; \quad t_3 = 51,633 > t_{кр}; \\ t_{12} = 0,677 < t_{кр}; \quad t_{23} = 0,348 < t_{кр}; \quad t_{13} = 0,375 < t_{кр}; \quad t_{123} = 0,894 < t_{кр}.$$

Коэффициенты b_0 , b_1 , b_2 , b_3 являются статистически значимыми, и уравнение (3) можно записать в виде:

$$y = 5,962 - 0,421x_1 + 0,145x_2 + 0,336x_3. \quad (6)$$

Расчет коэффициентов регрессии

$$x_1 = \frac{2(\ln V - \ln 283,3)}{\ln 283,3 - \ln 157,6} + 1; \\ x_2 = \frac{2(\ln S - \ln 4,2)}{\ln 4,2 - \ln 3,0} + 1; \\ x_3 = \frac{2(\ln t - \ln 1)}{\ln 1 - \ln 0,3} + 1.$$

Определив значение коэффициентов регрессии x_i , подставим их в уравнение (6):

$$y = 12,88 - 1,434 \ln V + 0,864 \ln S + 0,558 \ln t$$

Потенцируя, получим:

$$P_z = \frac{392385 \cdot S^{0,864} \cdot t^{0,558}}{V^{1,434}} \quad (7)$$

ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИ

Чтобы проверить гипотезу об адекватности (пригодности) представления результатов эксперимента найденным уравнением связи, достаточно оценить отклонение, предсказанное уравнением регрессии выходной величины y , от результатов эксперимента в различных точках факторного пространства.

Рассеяние результатов эксперимента относительно уравнения связи, аппроксимирующего искомую функциональную зависимость, можно охарактеризовать с помощью остаточной дисперсии или дисперсии адекватности S_{ad}^2 , оценка которой находится по формуле, которая справедлива лишь при равном числе дублирующих опытов:

$$S_{ad}^2 = \frac{r}{n-m} \sum_{v=1}^n (\tilde{y}_v - y_v) = 5,11 \cdot 10^{-4},$$

где $m = 4$ – число членов аппроксимирующего полинома (включая свободный член).

Дисперсия оптимизации из формулы (4) равна $1,015 \cdot 10^{-3}$. Так как в расчетах $S_{opt}^2 < S^2\{y\}$ ($5,11 \cdot 10^{-4} < 1,015 \cdot 10^{-3}$), то адекватность модели очевидна без расчета критерия Фишера.

Из уравнений (6) и (7) следует, что наибольшее влияние на силу резания P_z оказывают скорость резания V_p ($b_1 = -0,421$) и глубина t ($b_3 = 0,336$), меньшее влияние оказывает подача фрезы S_f ($b_2 = 0,145$).

ПОСТРОЕНИЕ ДОВЕРИТЕЛЬНОГО ИНТЕРВАЛА

Для графического представления адекватности полученной эмпирической модели построим доверительные интервалы для некоторых выборок с доверительной вероятностью 0,9. Доверительные интервалы для зависимости усилия резания от глубины фрезерования при $V = 283,3$ мм и $S = 4,2$ мм представлены на рисунке 1. Доверительные интервалы для зависимости усилия резания от скорости резания при $t = 1$ мм и $S = 3$ мм представлены на рисунке 2; для зависимости усилия резания от подачи фрезы при $t = 1$ мм, $V = 283,3$ м/мин представлены на рисунке 3.

Норма Гаусса для зависимости усилия резания от глубины фрезерования составляет:

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2} = 32,6 \text{ Н}$$

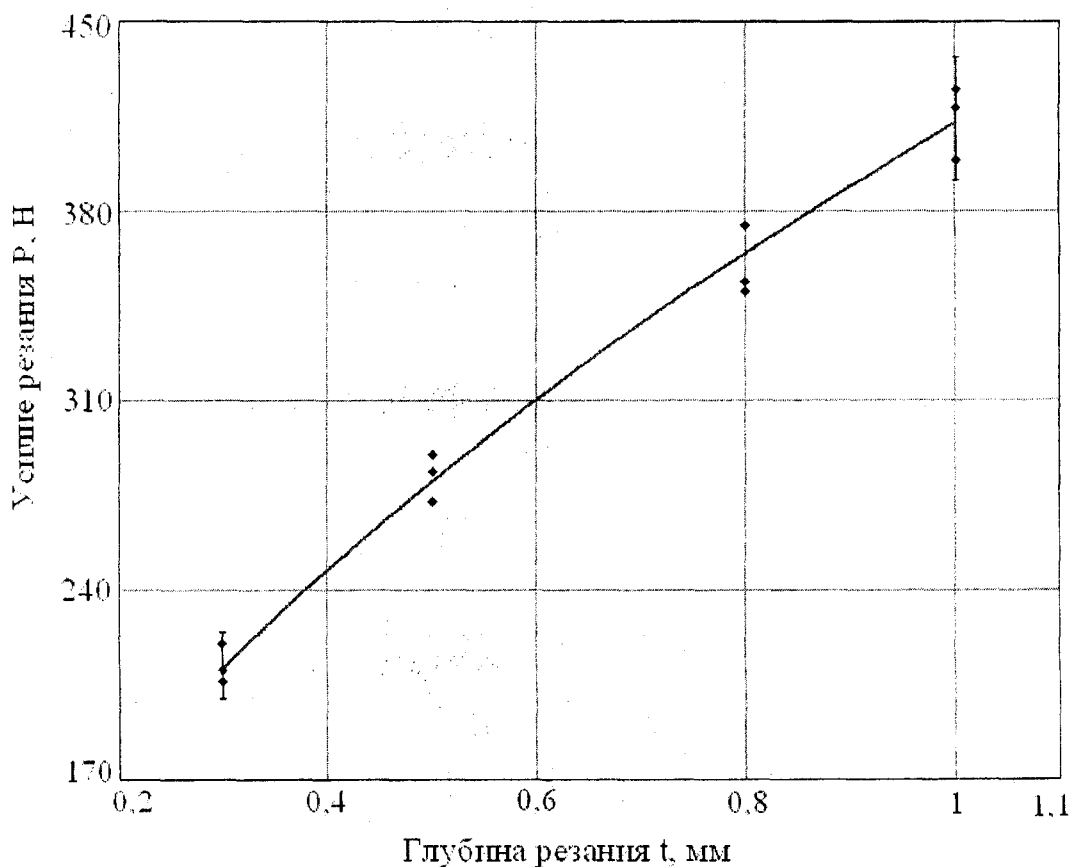


Рисунок 1 – Зависимость усилия резания P , Н от глубины фрезерования t , мм

Норма Гаусса для зависимости усилия резания от скорости фрезерования составляет:

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2} = 44,6 \text{ Н}$$

Норма Гаусса для зависимости усилия резания от продольной подачи фрезы составляет:

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2} = 32,8 \text{ Н}$$

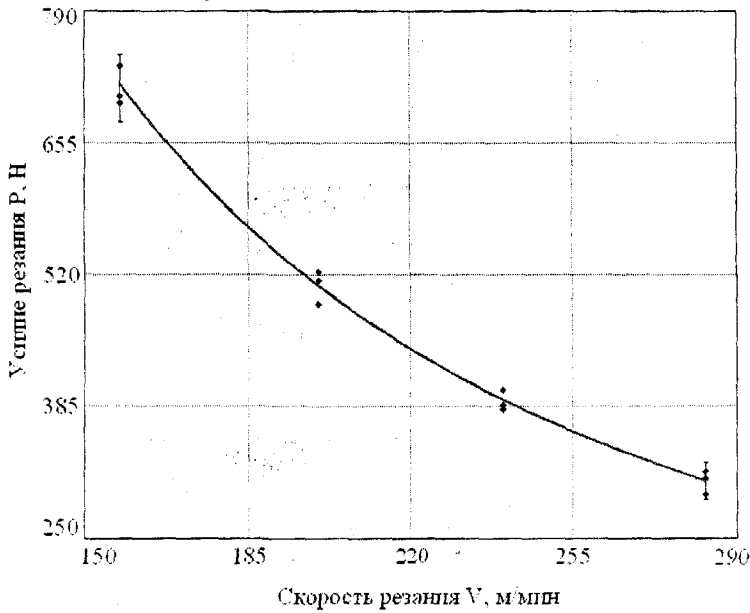


Рисунок 2 – Зависимость усилия резания P , Н от скорости фрезерования V , м/мин

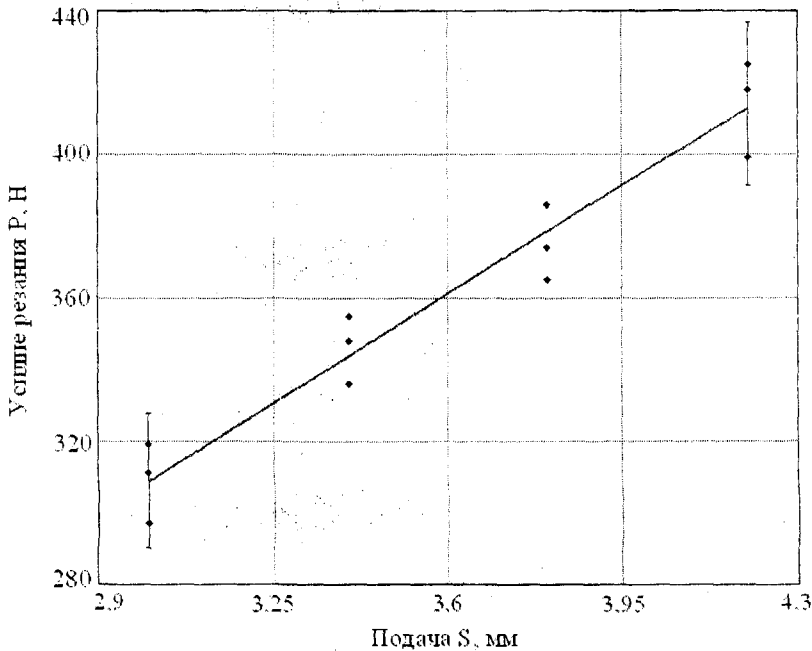


Рисунок 3 – Зависимость усилия резания P , Н от подачи фрезы S , мм

ВЫВОДЫ

В ходе процесса идентификации функциональной модели силы резания при фрезеровании горячего наплавленного металла было определено, что наилучшим образом результаты эксперимента описываются функциональной зависимостью в виде $T = f(V, S, t) = cV^m S^p t^n$ при $c = 392385$, $m = -1,434$, $p = -0,864$, $n = -0,558$. Полученная модель позволяет описать результаты эксперимента с нормой Гаусса не более 44,6 Н. Для визуального отображения точности модели были построены доверительные интервалы, по которым можно сделать вывод, что заданная точность обеспечивается с доверительной вероятностью 0,9. Полученная модель может эффективно использоваться в следующих диапазонах значений: V от 157,6 до 283,3 м/мин, S от 3,0 до 4,2 мм/об, t от 0,3 до 1,0 мм.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойко, Н.И. Малооперационная ресурсосберегающая технология повышения качества наплавленного металла [Текст] : монография / Н.И. Бойко, Г.В. Санамян. – Ростов н/Д: РГУПС, 2007. – 226 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя [Текст] / под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой. - изд. 5-е, испр., Т.2. – М.: Машиностроение, 2003. – 944 с.
3. Панов, А.А. Обработка металлов резанием [Текст] : справочник технолога / А.А. Панов, В.В. Аникин, Н.Г. Бойм – М.: Машиностроение, 2004. – 784 с.
4. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке [Текст] / Н. Джонсон, Ф. Лион – Мир, 1980 – 610 с.

Санамян Георгий Валерьевич

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),
344038, г. Ростов-на-Дону, пл. им. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
кафедра «Эксплуатация и ремонт машин», аспирант,
телефон (863) 247-64-44,
E-mail: George.VS@inbox.ru

G.V. SANAMYAN

RESEARCH OF FORCES OF CUTTING AT MILLING HOT WELDING METAL WITH APPLICATION OF MATHEMATICAL PLANNING OF EXPERIMENT

In work reception of empirical mathematical model of force of cutting is carried out at milling hot welding metal in the course of his drawing with application of mathematical planning of experiment.

Key words: welding, metal, milling, model, force, experiment, velocity, depth, feed, confidential interval.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Boyko, N.I., Sanamyan G.V. The few operational resourcesaving technology of improvement of quality of welding metal [Text]: monography / N.I. Boyko, G.V. Sanamyan. – Rostov-on-Don: RSTU, 2007. – 226 p.
- [2] The directory of the technologist-machine engineer [Text] / under the editorship of A.M. Dalsky, A.G. Kosilovoj. - the edition 5, corrected, T.2. - M: Mechanical engineering, 2003. - 944 pages.
- [3] Panov, A.A. Processing of metals cutting [Text] : the directory of the technologist / A.A. Panov, V.V. Anikin, N.G. Boym - M: Mechanical engineering, 2004. - 784 p.
- [4] Johnson, H. Statistic and experiment planning in the technician and a science [Text] / H. Johnson, F. Lyon. - Mir. 1980 - 610 p.

Sanamyan Georgiy Valeryevich

Rostov State Transport University (RSTU),

2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, 344038, Russia

chair «Exploitation and repair of the machines», graduate student,

telephone (863) 247-64-44,

E-mail: George.VS@inbox.ru

УДК 621.9

В.П. СМОЛЕНЦЕВ, А.А. БОЛДЫРЕВ

МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ БАЗИРОВАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК В РЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ

В статье рассмотрены области рационального использования реологических сред в гибкоструктурном производстве современной техники, раскрыт механизм получения компенсирующих элементов базовых поверхностей, обеспечивающих высокую повторяемость геометрии детали при значительном рассеивании размеров заготовки без применения трудоемких операций по обработке базовых поверхностей заготовок.

Ключевые слова: реологические свойства, магнитная жидкость, средства технологического оснащения.

ВВЕДЕНИЕ

При малой серийности производства, широкой номенклатуре и относительно небольших периодах изготовления деталей значительное влияние на себестоимость изготовления изделий оказывает количество и сложность проектируемой технологической оснастки, в том числе приспособлений для закрепления. Для снижения затрат на подготовку производства целесообразно использовать универсальные оснастку и оборудование взамен специальных приспособлений.

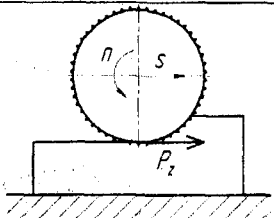
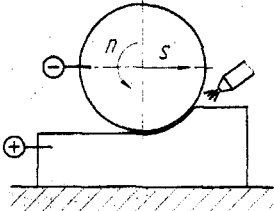
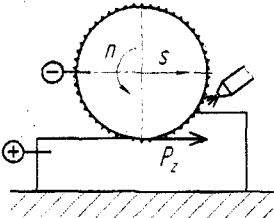
На чистовых стадиях обработки сила резания резко снижается (таблица), но требуется более точная установка заготовок в рабочее положение. Поэтому к приспособлениям для закрепления заготовок предъявляются умеренные требования к жесткости и величине силы закрепления. Кроме того, силовые методы закрепления могут нарушать геометрическую форму ажурных и тонкостенных деталей и вызывают нарушение установочных баз. В связи с этим возникают технико-экономические предпосылки для использования универсальной самформирующейся оснастки с применением магнитно-реологической жидкости.

С целью обеспечения надежного закрепления деталей из немагнитных материалов при обработке на магнитных столах, например при шлифовании, используется способ крепления, основанный на реологических свойствах ферромагнитной жидкости [2]. Деталь 5 в этом случае устанавливают (рисунок 1) на магнитный стол 1 между соседними разноименными магнитными полюсами магнитов 2 и 3. При этом магниты 3 связаны с регуляторами 4. Реологическую ферромагнитную жидкость 6 подают на поверхность магнитного стола 1 в месте крепления детали 5 сплошным слоем до ее толщины. Магниты 2 не позволяют жидкости 6 выйти за пределы магнитного стола 1.

После чего одновременно осуществляют перемещение детали 5 по рабочей поверхности стола 1 и регулирование магнитного поля через магнитные полюса 3 до появления сил торможения перемещения и определения наибольшего сопротивления ее перемещения, в котором и производят фиксацию детали 5. Затем регуляторами 4 создают наибольшую силу магнитного поля, достаточную для закрепления детали и устойчивого положения при действии сил резания P_z .

Промышленная апробация способа при шлифовании нержавеющей стали 12Х18Н9Т с припуском на один проход 0,05 мм, показала сохранение установочной базы при общем съеме с детали 0,2 мм.

Таблица – Силы резания при различных методах обработки

Вид обработки	Схема	Сила резания
Черновое шлифование		$\approx 700 \text{ Н}$
Чистовое шлифование		$\approx 100 \text{ Н}$
Электроэрозионное шлифование		малая
Электроабразивное шлифование		$\approx 20 \text{ Н}$

В момент установки заготовки на столе магнитная жидкость течет в рабочем зазоре с разрушенной структурой. При включении электромагнитных катушек создается магнитное поле с индукцией B , которое ориентирует ферромагнитные частицы вдоль силовых линий магнитного поля с образованием цепочечной структуры, для разрушения которой необходимо приложить определенную силу.

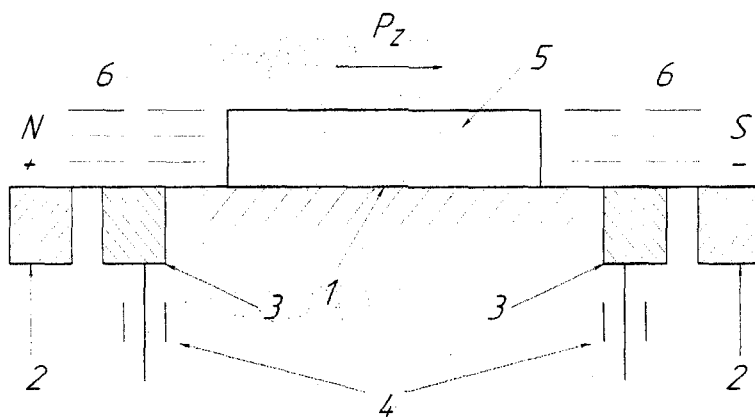


Рисунок 1 – Схема крепления деталей на магнитном столе: 1 – магнитный стол, 2 и 3 – магниты, 4 – регуляторы силы магнитного поля и реологической ферромагнитной жидкости, 5 – обрабатываемая деталь; 6 – реологическая ферромагнитная жидкость

Сила закрепления F заготовки на столе станка определяется силой сцепления, действующей в элементарном слое магнитной жидкости площадью dS :

$$dF = \tau_p dS. \quad (1)$$

Напряжение сдвига τ_p в слое ферромагнитной реологической жидкости складывается из двух составляющих, одна из которых (τ_η) обусловлена вязкостными силами, другая (τ_n) – магнитным взаимодействием между частицами. Экспериментально установлено, что в статическом режиме сила, препятствующая сдвигу заготовки, определяется статическим пределом текучести.

При наложении магнитного поля:

$$\tau_p = \tau_n = 4Km^2/(\pi d^3), \quad (2)$$

где K – число частиц в единице объема;

m – магнитный момент частицы;

d – расстояние между центрами частиц.

Или после преобразования:

$$\tau_p = 4c_v m^2 / (\pi d^3 V_v), \quad (3)$$

где V_v – объем феррочастицы.

Напряжение τ_p можно также определить по реологической кривой для магнитной жидкости данного типа (рисунок 2).

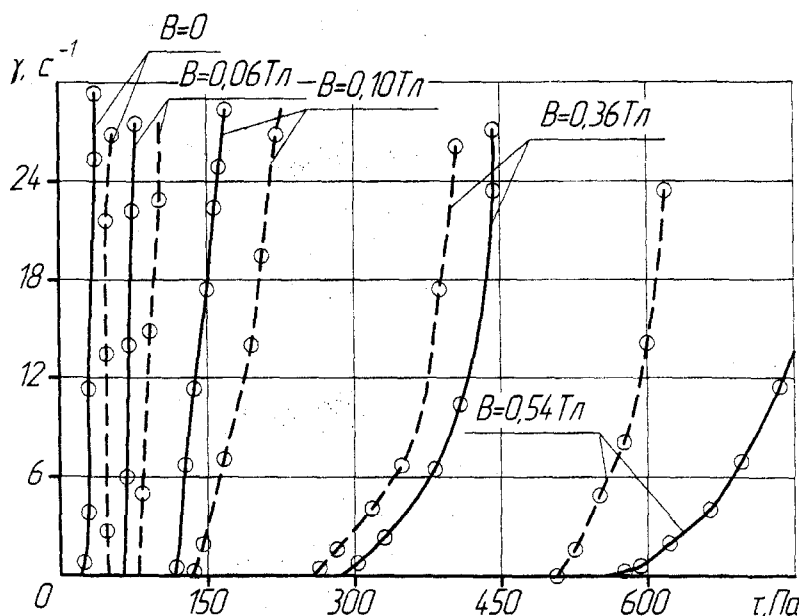


Рисунок 2 – Реологические характеристики магнитной жидкости при различной магнитной индукции B и среднем диаметре частиц железа $d_{cp}=20 nm$ (штриховые линии) и $d_{cp}=100 nm$ (сплошные линии)

Предел текучести возрастает с увеличением индукции действующего в зазоре магнитного поля, что позволяет управлять физико-механическими свойствами реологической жидкости через изменение тока на катушке управления (рисунок 3).

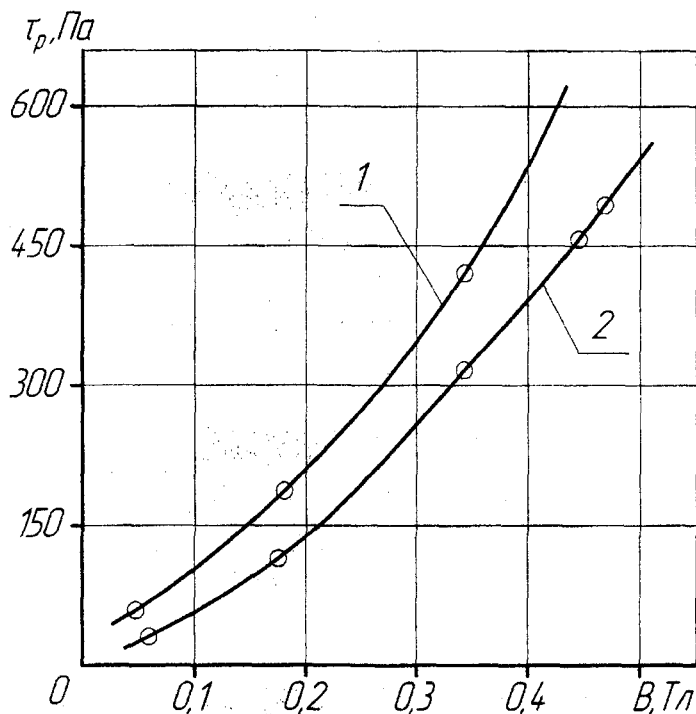


Рисунок 3 – Зависимость статического предела текучести магнитной жидкости от магнитной индукции при среднем диаметре частиц железа: $d_{cp}=100$ нм (кривая 1) и $d_{cp}=50$ нм (кривая 2)

Электромагнитный расчет следует проводить для определения основных размеров магнитной цепи и параметров катушки управления. Исходным параметром является индукция в рабочем зазоре, которая должна быть, как установлено экспериментально, не более 0,5 Тл. При большей индукции вязкость МЖ возрастает значительно меньше, поэтому увеличение намагничивающей силы катушки значительного увеличения силы закрепления.

Далее определяется суммарная площадь сечения рабочего зазора S_{δ} . Предельное напряжение сдвига τ_p определяется аналитически или по реологической кривой.

Рабочий поток в зазоре при принятой магнитной индукции определяется как:

$$\Phi_{\delta} = B_{\delta} S_{\delta}. \quad (4)$$

Поток, создаваемый катушкой при коэффициенте рассеивания σ магнитной системы:

$$\Phi = \Phi_{\delta} \sigma. \quad (5)$$

Приняв индукцию стальных участков магнитопровода B_{cm} , определяют площадь сечения стальных участков магнитной цепи:

$$S_{cm.min} = \Phi / B_{cm}. \quad (6)$$

Далее выполняется эскиз магнитной цепи с учетом размеров магнитопроводов. Определяются проводимости магнитному потоку, созданному катушкой управления для рабочих зазоров, и потоку рассеяния. Уточняются коэффициент рассеяния магнитной цепи и поток, создаваемый катушкой управления.

Магнитодвижущая сила катушки управления определяется как сумма сил необходимых для прохождения магнитного потока через стальные участки и через воздушные зазоры. Число витков катушки определяется по формуле:

$$W = F_{\Sigma} U_n / P_{\max}, \quad (7)$$

где F_{Σ} – суммарная магнитодвижущая сила;

U_n – напряжение источников питания;

$P_{\max}$ – максимальная мощность, потребляемая катушкой управления.

Площадь сечения катушки при коэффициенте заполнения K_3 и удельном сопротивлении ρ :

$$S = W F_{\Sigma} \pi D_k \rho / (U_n K_3), \quad (8)$$

где D_k – средний диаметр катушки.

С учетом S и размеров магнитной цепи определяют основные конструктивные размеры катушки; высоту, ширину и внутренний диаметр.

Диаметр провода для катушки управления:

$$d_{np} = 2 \sqrt{\rho D_k F_{\Sigma} / U_n}. \quad (9)$$

Также следует выполнять проверочный расчет соответствия температуры нагрева катушки максимальной допустимой температуре для выбранного провода с учетом класса изоляции.

ВЫВОД

Разработаны научно-обоснованные рекомендации по рациональной области использования в гибкоструктурном производстве реологических сред, применение которых целесообразно при получении поверхностей высокой точности и ограниченных габаритов в процессе чистовой обработки и, особенно, при операциях с физико-техническими процессами.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смоленцев, В.П. Применение магнитно-реологических жидкостей в металлообработке [Текст] / В.П. Смоленцев, А.А. Болдырев // Нетрадиционные методы обработки: межвуз. сб. науч. трудов. Вып. 9. ч. 3. - М.: Машиностроение, 2010. - С.120-129.
2. Патент России № 2312000, МПК В23Q 3/15. Способ крепления деталей из немагнитных материалов и устройство для его осуществления [Текст] / А.С. Ревин, А.В. Лисицын, В.П. Смоленцев. 2004136423/02: заявлено 14.12.2004: опубл. 10.12.2007 // Бюл. 34, 2007.
3. Магнитные жидкости в машиностроении [Текст] / Д.В. Орлов, Ю.О. Михалёв, Н.К. Мышкин [и др.] / под общ. ред. Д.В. Орлова, В.В. Подгоркова. - М.: Машиностроение, 1993.

Владислав Павлович Смоленцев
Доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет»
Тел: (473) 2464049
E-mail: vsmolen@inbox.ru

Александр Александрович Болдырев
Аспирант
ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет»
Тел: (473) 2708712
E-mail: alexboldyrev@yandex.ru

A.A. BOLDYREV, V.P. SMOLENTSEV

CONTROL MECHANISM OF LOCATING PROCESS OF INDIVIDUAL WORKPIECES IN RHEOLOGICAL LIQUID

The article is devoted to the fields for the use of rheological media in flexible manufacture of modern machinery, it discloses mechanism for acquisition of compensating elements in location surfaces, that provide high repetition of workpiece geometrical arrangement at considerable dispersion of workpiece size without the use of laborious operations for treatment of workpieces location surfaces.

Key words: rheological properties, magnetic liquid, fixtures and tools.

BIBLIOGRAPHY

[1]Smolentsev, V.P. Application of magnetic-rheological liquids in metal working [Text] / V.P.Smolentsev, A.A.Boldyrev // Nonconventional methods of processing: interhigh school. coll. of scient. works. Issue 9. part 3.- Moscow: Mashinostroenie, 2010. - Pp. 120-129.

[2]Patent of Russia № 2312000, MPK B23Q 3/15. Details fastening mode from non magnetic materials and the device for its realization / A.S.Revin, A.V.Lisitsyn, V.P.Smolentsev. 2004136423/02: declared 14.12.2004: published 10.12.2007 // Bull. 34, 2007.

[3]Magnetic liquids in mechanical engineering [Text] / D.V.Orlov, Ju.O.Mikhalev, N.K.Myshkin, [etc.]: general edition D.V. Orlov, V.V. Podgorkova. - Moscow: Mashinostroenie, 1993.

Vladislav Pavlovich Smolentsev

Dr.Sci.Tech., professor

FSBEO HPE «Voronezh state

Technical university»

Phone: (473) 2464049

E-mail: vsmolen@inbox.ru

Alexander Aleksandrovich Boldyrev

Post-graduate student

FSBEO HPE «Voronezh state

Technical university»

Phone: (473) 2708712

E-mail: alexboldyrev@yandex.ru

УДК 621.921.048.6

М.А. ТАМАРКИН, А.А. ПРОКОПЕЦ, Г.А. ПРОКОПЕЦ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ПУТЕМ УПРАВЛЕНИЯ АМПЛИТУДОЙ КОЛЕБАНИЙ РАБОЧЕЙ КАМЕРЫ

В статье дан анализ факторов, нарушающих стабильность процесса вибрационной обработки, и выявлены наиболее значимые из них. К таковым относится нарушение стабильности амплитуды колебаний рабочей камеры. Анализ путей стабилизации амплитуды колебаний рабочей камеры показал возможность адаптивного управления этим параметром путем изменения положения общего центра тяжести дебалансов. С этой целью получена зависимость амплитуды колебаний рабочей камеры от положения общего центра тяжести дебалансов и от массы загрузки, которая является функцией времени. Предложена схема адаптивного управления амплитудой колебаний рабочей камеры.

Ключевые слова: вибрационная обработка, стабилизация амплитуды колебаний рабочей камеры

Изделия машиностроения при изготовлении проходят ряд этапов, на которых последовательно формируется их качество. Возможность достижения требуемой точности и качества деталей при высокой производительности, повышение надежности и долговечности машин в процессе эксплуатации способствуют непрерывному росту объема отделочных операций в современном машиностроении. Одной из разновидностей финишной обработки является вибрационная обработка (ВиО). ВиО применяется как для отделки поверхностей де-

талей (улучшения товарного вида), так и для улучшения эксплуатационных характеристик деталей.

Производительность ВиО зависит от режимов и продолжительности обработки, характеристик и размеров частиц рабочей среды, объема рабочей камеры и степени её заполнения, механических свойств материала обрабатываемых деталей, их веса и формы, соотношения объема/массы обрабатываемых деталей и рабочей среды, количества обрабатываемых деталей одновременно и др.

При ВиО (рисунок 1) обрабатываемые детали загружаются в рабочую камеру 1, заполненную рабочей средой требуемой характеристики. Рабочая камера смонтирована на упругих элементах, в рассматриваемом случае на пружинах 2, дающих ей возможность колебаться в различных направлениях. Она получает колебания заданной частоты от вала, вращающегося с частотой 900-3000 об/мин. Амплитуда колебаний от 0,5 до 5-9 мм формируется установкой дебалансов 3 (инерционного вибратора) под определенным углом. В процессе обработки детали непрерывно подвергаются переменным по знаку ускорениям, под действием которых рабочая среда и детали совершают 2 вида движений: колебательное и циркуляционное.

В процессе обработки при свободной загрузке детали занимают различные положения в рабочей среде, обеспечивая тем самым достаточно равномерную обработку всех поверхностей. Для ВиО применяются стальные, стеклянные, фарфоровые, алюминиевые шарики, бой абразивных кругов, различные абразивные среды на полимерной и керамической связке и т.д.

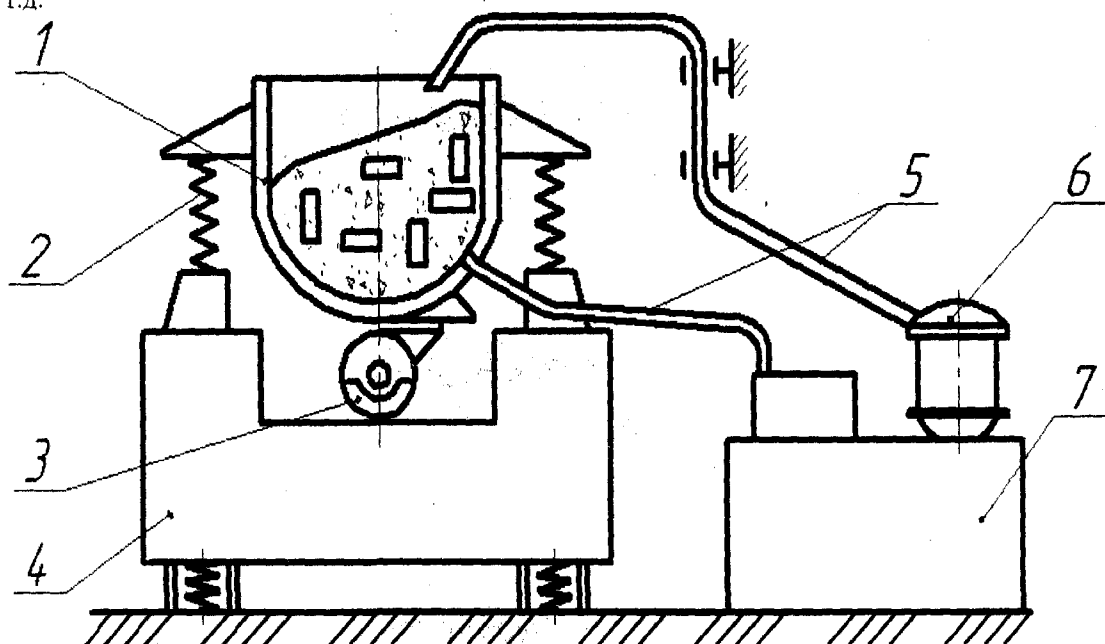


Рисунок 1 - Схема процесса вибрационной обработки:

1 - рабочая камера; 2 - пружины; 3 - дебалансный вибратор; 4 - основание; 5 - шланги для подачи и слива СОТС; 6 - помпа; 7 - бак-отстойник.

Вибростанки могут иметь различное конструктивное исполнение: однокамерное и многокамерное, с торовыми, прямоугольными, v-образными камерами, механизированное, автоматизированное и др. Исполнение зависит от типа производства, условий обработки, размеров и количества обрабатываемых деталей, назначения обработки и т.д.

При реализации любого технологического процесса необходимо обеспечить не только требуемый уровень формируемых в этом процессе показателей качества изделия (в нашем случае показателей качества поверхностного слоя детали), но и стабильность его во времени.

Уровень качества обеспечивается в основном наладкой технологической системы, а стабильность обработки – поддержанием всех параметров наладки на заданном уровне.

В общем виде наладка технологической системы ВиО включает в себя:

1. Установку рабочих камер на вибростанок и их закрепление; для однокамерных станков эта часть наладки не выполняется;
2. Заполнение рабочих камер обрабатывающей средой (возможно заполнение камер рабочими средами различных характеристик, с разным объемом загрузки в зависимости от назначения обработки);
3. Заливку технологической жидкости требуемого состава (СОТС) в систему промывки;
4. Установка режима обработки (амплитуды и частоты колебаний рабочей камеры, при применении систем активного контроля – настройка на сигнал об остановке процесса обработки, то есть время обработки).

Каждый из элементов наладки вносит свою погрешность в процесс обработки и влияет на его надежность. В частности, погрешности, вносимые в результат обработки неуравновешенностью виброплатформы при первичной наладке, могут быть отнесены к систематическим постоянным и в значительной степени учтены при наладке технологической системы, например, установкой в строго определенном месте противовеса расчетной массы.

Важным фактором, влияющим на стабильность технологического процесса ВиО, является износ рабочей среды, с течением времени приводящий к уменьшению объема загрузки. Эта величина является функцией времени $m(t)$, поэтому ее необходимо отнести к систематическим переменным погрешностям. При малых величинах износа рабочей среды он практически не влияет на величину установившейся шероховатости обрабатываемых деталей. Дальнейшее увеличение износа рабочей среды приводит к уменьшению объема (веса) массы загрузки (совокупность рабочей среды и обрабатываемых деталей) и, как следствие, к изменению динамических характеристик циркуляционного потока, что и приводит к изменению режущей способности рабочей среды, к увеличению времени обработки для достижения заданного уровня параметров качества, а также может вызвать ухудшение шероховатости поверхности обрабатываемых деталей. Уменьшение влияния погрешностей, вносимых в результат обработки износом рабочей среды, как частично восстанавливаемого элемента системы, может быть снижено путем проведения подналадок. В процессе проведения подналадки объем рабочей среды может быть восстановлен путем досыпания ее изношенного объема.

На стабильность процесса также оказывает влияние точность установки режима обработки, а именно амплитуды и частоты колебаний рабочей камеры, а также времени обработки. Установка частоты колебаний рабочей камеры может осуществляться дискретно и бесступенчато. Регулировка амплитуды осуществляется бесступенчато изменением угла между дебалансами вибратора. При наладке возникает погрешность установки расчетного режима, а также погрешность реализации установленных режимов обработки (например, за счет неуравновешенности виброплатформы, неравной жесткости элементов подвески и т.п.).

Погрешности, вносимые в результат обработки погрешностью установки режима обработки, так же как и неуравновешенностью виброплатформы, возникающей при первичной наладке, могут быть отнесены к систематическим постоянным и учтены при наладке технологической системы (внесение коррекции в наладку). Исключение влияния выхода амплитуды за допустимые значения в процессе технологического процесса возможно только при использовании адаптивных систем управления, что также позволит снизить влияние погрешности установки режима обработки.

Таким образом, одним из наиболее значимых и трудноуправляемых факторов, влияющих на стабильность процесса ВиО, является изменение массы загрузки $m(t)$, которая может быть вызвана износом рабочей среды, изменением массовой характеристики совокупности обрабатываемых деталей, добавлением рабочей среды вместо изношенной. Это может привести к изменению установленных режимов (в частности, амплитуды), и, как следствие, появлению брака.

При использовании однокамерных вибростанков изменение амплитуды в процессе обработки с целью либо поддержания ее величины на заданном уровне (стабилизация амплитуды), либо с целью изменения режима обработки, может обеспечиваться изменением угла между дебалансами. Составим уравнение, описывающее зависимость амплитуды колебаний рабочей камеры от угла между дебалансными грузами. Для этого представим рассматриваемое устройство в виде схемы (рисунок 2).

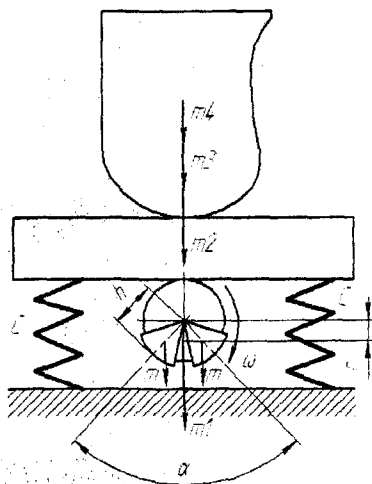


Рисунок 2 - Расчетная схема

На прямоугольной плите (виброплатформе), установленной на четырех симметричных пружинах жесткостью c каждая, установлена рабочая камера с массой загрузки, внизу платформы подвешен вал вибратора. Общая масса вибрирующей части установки составляет

$$M(t) = m_1 + m_2 + m_3(t) + m_4 + 2m,$$

где m_1 - масса виброплатформы с валом вибратора;

m_2 - масса рабочей камеры;

m_3 - масса рабочей среды;

m_4 - масса совокупности обрабатываемых деталей в рабочей камере;

m - масса дебалансного груза.

Вибрация с заданной амплитудой обеспечивается установкой двух дебалансных грузов массой m под определенным углом друг к другу.

Изменяя угол между грузами, меняем координату r общего центра тяжести грузов относительно оси вращения вибратора, соответственно меняем амплитуду колебаний. Вал вибратора вращается с угловой скоростью ω . Полагая, что движение начинается из положения статического равновесия и начальная скорость плиты равна нулю, получим уравнение вынужденных колебаний виброплатформы с рабочей камерой, из которого путем несложных преобразований получаем зависимость для расчета амплитуды колебаний системы:

$$A(\alpha, t) = \frac{m \cdot \omega^2 \cdot 2/3 \cdot h \cdot \cos(\alpha/2)}{4 \cdot c \cdot g - \omega^2 \cdot M(t) \cdot g}$$

где h - высота дебалансного груза (дебалансный груз имеет форму равнобедренного треугольника);

α - угол между осями симметрии дебалансов.

Таким образом, регулирование амплитуды вынужденных колебаний системы можно обеспечить изменением положения общего центра тяжести дебалансных грузов путем изменения угла между ними в соответствии с законом:

$$\alpha(A, t) = 2 \cdot \arccos \left(\frac{3 \cdot A \cdot g(4 \cdot c - \omega^2 \cdot M(t))}{2 \cdot m \cdot \omega^2 \cdot h} \right)$$

Из полученной зависимости видно, что, управляя амплитудой колебаний рабочей камеры, можно обеспечить стабильность результатов обработки деталей (выходного параметра). В зависимости от назначения обработки выходной величиной при ВиО может являться шероховатость обработанной поверхности, степень и глубина упрочнения, степень очистки поверхности и др. Контроль этих параметров непосредственно в процессе обработки крайне затруднен, и их физическая сущность (а, следовательно, и методы и средства контроля) сильно отличаются друг от друга. Поэтому, зная требуемое минимальное время для достижения данных параметров при стабильном режиме обработки, основной целью становится обеспечение стабильности этого режима, в частности амплитуды. В связи с этим в качестве выходной величины U при разработке САУ принимаем амплитуду колебаний рабочей камеры. В случае, если стабилизация скорости циркуляции рабочей среды будет осуществляться изменением амплитуды колебаний рабочей камеры (при условии бесступенчатого регулирования этого параметра и достаточной чувствительности управляющего органа), то функциональная схема будет выглядеть следующим образом (рисунок 3).

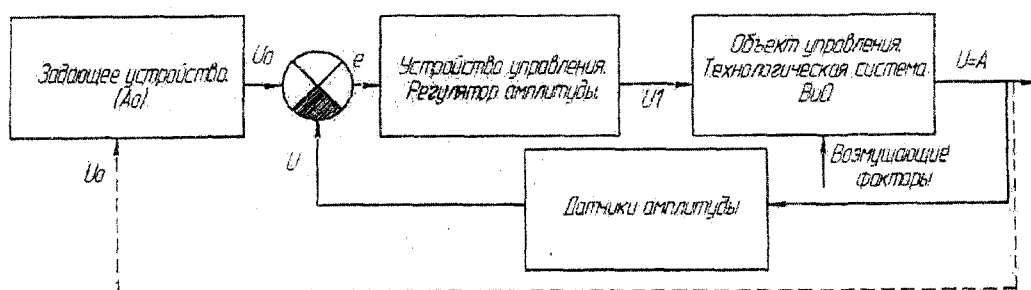


Рисунок 3 – Функциональная схема САУ амплитуды колебаний рабочей камеры технологической системы ВиО

Наиболее целесообразным при разработке САУ ВиО ответственных деталей является принцип обратной связи, при котором управляющее воздействие корректируется в зависимости от выходной величины U . В этом случае не имеет значения, какие возмущения действуют на объект управления (технологическую систему ВиО): если значение U отклоняется от требуемого, то происходит корректировка сигнала на входе с целью уменьшения данного отклонения. Такое управление в функции отклонения называется регулированием, а подобную САУ называют системой автоматического регулирования (САР). Так как основной задачей системы является стабилизация выходного параметра, то ее можно отнести к автоматическим стабилизирующим системам.

В зависимости от условий и цели обработки будет соответственно изменяться схема реализации такой САР и состав ее элементов. При обработке деталей в условиях серийного и массового производства, а также при использовании рабочих сред, скорость износа которых достаточно велика, стабилизировать выходные параметры обработки только стабилизацией амплитуды колебаний рабочей камеры не представляется возможным. Поэтому в такую систему САР необходимо включить блок компенсации износа рабочей среды.

В зависимости от назначения обработки, технологических характеристик используемой рабочей среды, материала обрабатываемых деталей могут использоваться различные управляющие органы. В нашем случае управляющим органом технологической системы ВиО, с помощью которого можно изменять параметры управляемого процесса, может являться: элементы вибратора, отвечающие за величину амплитуды колебаний (система дебалансов); устройство для смещения центра масс вибрирующей системы; бункер с рабочей средой с автоматической заслонкой и др.

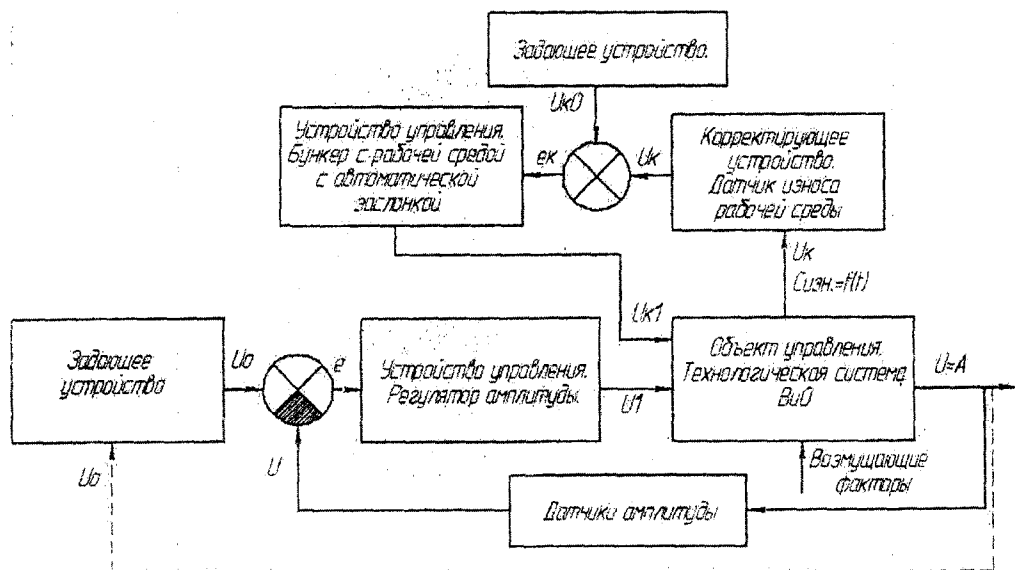


Рисунок 4 – САР технологической системы ВиО со стабилизацией амплитуды и компенсацией износа среды

При наладке технологической системы ВиО устанавливаются режимы обработки, обеспечивающие заданные параметры качества обрабатываемых деталей. После обработки контрольной партии деталей, при необходимости, производится коррекция режима, обеспечивающего требуемые значения параметров качества детали, с внесением соответствующего значения в задающее устройство. Это значение и будет являться заданным (исходным), и именно его при реализации технологического процесса и должна будет поддерживать САР вне зависимости от причин, вызывающих изменение амплитуды колебаний рабочей камеры.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

Михаил Аркадьевич Тамаркин
Доктор технических наук,
Профессор кафедры
«Технология машиностроения»
«Донской государственный
технический университет»
Тел: (863)273-87-25
E-mail: tehn_rostov@mail.ru

Анатолий Александрович Прокопец
Инженер кафедры «Технология
машиностроения», «Донской
государственный технический уни-
верситет»
Тел: (863)273-83-85
E-mail: A_Pro@live.ru

Галина Анатольевна Прокопец
Кандидат технических наук,
доцент кафедры «Технология
машиностроения», «Донской
государственный технический уни-
верситет»
Тел: (863)273-83-85
E-mail: GalinePr@mail.ru

M.A. TAMARKIN, A.A. PROKOPETS, G.A. PROKOPETS

ENSURING THE STABILITY OF THE PROCESS OF VIBRATION CONTROL PROCESSING BY THE AMPLITUDE OF OSCILLATION OF THE WORKING CHAMBER

The paper analyzes the factors violated the stability of the process of vibration treatment and identified the most significant of them. These include violation of the oscillation amplitude stability of the of the working chamber. Analysis of ways stabilization oscillation amplitude of working chamber showed the possibility of adaptive control of this parameter by changing the common center of gravity balance. For this purpose, the dependence of the oscillation of working chamber from the com-

mon center of gravity unbalances and from loading mass is received and which is time function. The scheme of the adapt management amplitude oscillation of the working chamber is offered.

Keywords: the vibration treatment, the stabilization oscillation amplitude of working chamber

Mikhail Arkadievich Tamarkin
Doctor of Technical Sciences,
Professor of «Engineering Technology»
«Don State Technical University»
Phone: (863)273-87-25
E-mail: tehn_rostov@mail.ru

Anatolliy Aleksandrovich Prokopets
Engineer of the Department of
«Engineering Technology»
«Don State Technical University»
Phone: (863)273-83-85
E-mail: A_Pro@live.ru

Galina Anatolievna Prokopets
Ph.D., Associate Professor of
«Engineering Technology»
«Don State Technical University»
Phone: (863)273-83-85
E-mail: GalinePr@mail.ru

УДК 621.924.093

А.А. ТИХОНОВ, А.А. ТИХОНОВ

ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

В статье представлены теоретические исследования гидроабразивной обработки. Получены зависимости для определения среднего арифметического отклонения профиля установившейся шероховатости поверхности.

Ключевые слова: гидроабразивная обработка, шероховатость поверхности, единичное взаимодействие, влияние зернистости.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Процесс гидроабразивной обработки заключается в направлении струи суспензии, состоящей из воды и частиц абразивных материалов, на обрабатываемую поверхность заготовки. Эта струя подвергается воздействию потока сжатого воздуха, который увеличивает скорость истечения суспензии из сопла. В результате такой обработки образуются чистые матовые поверхности, без направленных рисок, характерных для лезвийной обработки материалов. Действие режущих кромок абразивных частиц на обрабатываемую поверхность непродолжительно и имеет ударный характер.

Задача данного исследования заключалась в определении зависимости для расчета среднего арифметического отклонения профиля шероховатости поверхности на основе проведения экспериментальных и теоретических исследований.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

Правильное построение геометрической схемы, отражающей механизм взаимодействия свободных абразивов с поверхностью детали, позволяет установить качественное влияние различных факторов на процесс формирования шероховатости обработанной поверхности и получить адекватные теоретические зависимости.

В процессе обработки происходит перекрытие царапин, оставленных абразивными частицами, в результате чего ширина контакта каждой частицы с обрабатываемой поверхностью неодинакова, а края царапин расположены на различном уровне.

Таким образом, глубина внедрения соседних частиц также неодинакова. Это обуславливает сложность описания функции распределения глубин внедрения частиц в обрабатываемую поверхность. В работе [1] установлено, что небольшая доля частиц от их общего числа, которая участвует во взаимодействии, будет оставлять следы глубиной близкой к $h_{\max}$. Аппроксимируем их функцию распределения степенной зависимостью:

$$z_i = 0,5z_0 \left(\frac{h_i}{H_0} \right)^k, \text{ при } 0 \leq h_i \leq H_0 \quad (1)$$

где z_i - число лунок на уровне l_i от отпечатка наибольшей глубины - h_{max} ;

z_0 - номинальное количество взаимодействующих частиц над квадратом упаковки рабочей среды;

H_0 - разность глубин следов;

k - показатель распределения глубины отпечатков.

Величина H_0 соответствует глубине залегания половины из всех царапин, измеренной от дна наиболее глубокой царапины, при условии, что функция распределения глубин царапин в начальной части была справедлива для слоя царапин.

Для описания процесса образования профиля шероховатости поверхности при шлифовании и других видах абразивной обработки, в качестве критерия предлагается параметр H_{yc} , названный "условная высота неровностей обрабатываемой поверхности", и рассматривается методика определения стандартных параметров шероховатости поверхности при его использовании.

Учитывая общие особенности взаимодействия абразивного инструмента с поверхностью детали, введем аналогичный критерий для гидроабразивной обработки. Пусть в процессе обработки через нормальное сечение профиля шероховатости поверхности детали прошло некоторое количество абразивных частиц. Каждая i -ая частица оставляет царапину глубиной a_i и шириной b_i . Царапины от частиц частично перекрывают царапины от предыдущих частиц, при этом частицы осуществляют неполные срезы. При этом происходит постепенное смещение профиля, в процессе которого удаляются выступы исходной шероховатости. При формировании профиля установившейся шероховатости (рисунок 1) его впадины представляют собой дно наиболее глубоких царапин, а выступы образуются пересечением боковых сторон царапин от отдельных частиц.

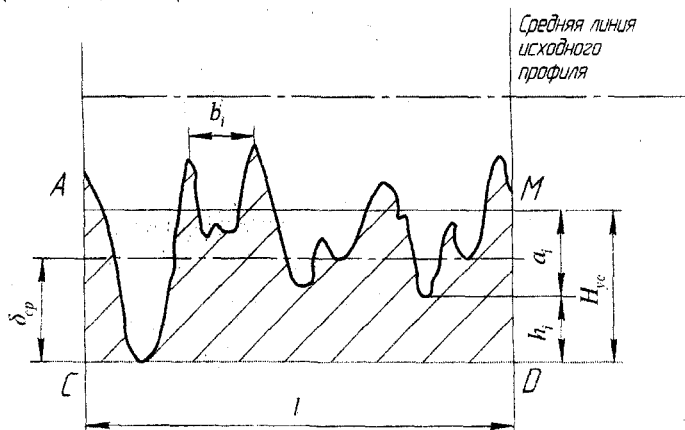


Рисунок 1 - Схема образования профиля шероховатости поверхности при обработке свободными абразивами

Под условной высотой микронеровностей обработанной поверхности будем понимать расстояние от средней линии AM, проведенной между вершинами неровностей в нормальном сечении детали, до уровня самых глубоких впадин, имеющих на этой поверхности CD. При этом, учитывая, что края царапин от частиц примерно равномерно смещаются вверх вниз от линии AM, за глубину внедрения зерен в данном поперечном сечении будем принимать глубину, отсчитанную от этой линии.

В работе [1] установлено, что отношение ширины абразивных царапин к глубине слабо зависит от размеров частиц.

$$b_i \approx 3,8a_i \quad (2)$$

Учитывая экспоненциальный характер, изменения высотных параметров шероховатости поверхности детали при обработке свободными абразивами, можно разработать математическую модель изменения значений этих параметров в зависимости от времени обработки. Для получения такой модели необходимо, прежде всего, разработать методику расчета установившейся шероховатости для конкретных значений исходных данных (технологических факторов), что позволит определить асимптоту экспоненциальной функции $Ra = f(t)$.

Как показано выше, нормальное сечение шероховатости поверхности детали после обработки свободными абразивами представляет собой совокупность абразивных царапин, оставленных частицами. При этом царапины частично наложены друг на друга и поэтому имеют неровные края (рисунок 1), однако, если бы частицы делали только полные срезы, то на некотором уровне нормального сечения детали сумма ширины всех полных срезов была бы равна ширине обрабатываемого участка:

$$\sum_{i=1}^{z_{сеч}} b_i = L_{eo} \quad (3)$$

где $z_{сеч}$ - количество зерен, оставивших свой след в данном нормальном сечении детали, а вершины всех неровностей в сечении AMCD располагались бы на одной линии.

В действительности за счет перекрытия царапин по ширине, вершины неровностей смещаются вверх и вниз от линии AM, а так как они смещаются от этой линии примерно равномерно вверх и вниз, то эту линию можно рассматривать как среднюю между вершинами всех неровностей.

Таким образом, средняя линия между вершинами всех неровностей в данном нормальном сечении детали находится на том уровне, где сумма ширины всех частиц, прошедших через данное сечение детали, равна ширине обрабатываемого участка. Дальнейшие расчеты будем производить на единице длины нормального сечения детали, так как величины $z_{сеч}$ и L_{eo} связаны между собой.

Учитывая соотношение (2), для уровня H_{yc} можно записать:

$$\sum_{i=1}^{z_{сеч}} b_i = \sum_{i=1}^{z_{сеч}} 3,8a_i = 3,8 \sum_{i=1}^{z_{сеч}} a_i = L_{eo} \quad (4)$$

Для нахождения глубины царапины a_i в рассматриваемом нормальном сечении детали обратимся к форме единичного следа при обработке свободными абразивами (рисунок 2).

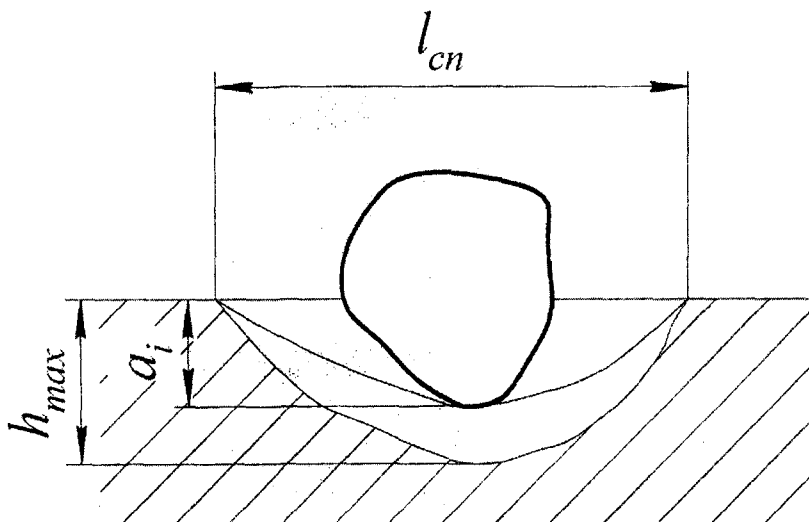


Рисунок 2 - Схема продольного сечения единичного следа абразивной частицы

За расчетную глубину внедрения a_i частицы можно взять произведение максимально возможной глубины $(h_{\max} - h_i)$ (рисунок 1) на вероятность $P_{\text{вн}}$ внедрения частицы с этой глубиной. Исходя из геометрической вероятности случайного события, искомая вероятность равна отношению площади, ограниченной продольной траекторией данной частицы при ее внедрении, к площади, ограниченной продольной траекторией движения частицы с максимальной глубиной внедрения:

$$P_{\text{вн}} = \frac{L_{\text{сн}}(h_{\max} - h_i)}{L_{\text{сн}} h_{\max}} = \frac{h_{\max} - h_i}{h_{\max}}$$

$$a_i = \frac{(h_{\max} - h_i)^2}{h_{\max}}; \quad a_i = h_{\max} \left(1 - \frac{h_i}{h_{\max}}\right)^2 \quad (5)$$

Тогда сумма глубин всех царапин, оставленных частицами в нормальном сечении АМСД

$$\sum_{i=1}^{z_{\text{сеч}}} a_i = h_{\max} \sum_{i=1}^z \left(1 - \frac{h_i}{h_{\max}}\right)^2, \quad (6)$$

где $z_{\text{сеч}}$ - общее число всех зерен, контакт которых возможен с данным нормальным сечением детали.

При этом, на уровне АМ (см. рисунок 1) определится $z_{\text{сеч}}$ следующим образом:

$$z_{\text{сеч}} = 0,5z_0 \left(\frac{H_{\text{yc}}}{H_0}\right)^{\kappa}$$

После преобразования получим:

$$3,8kz_0 \left(\frac{H_{\text{yc}}}{H_0}\right)^{\kappa} \frac{\Gamma_{(\kappa)}}{\Gamma_{(\kappa+2)}} = L_{\text{ср}}$$

Учитывая, что значения показателя степени для всех видов абразивной обработки лежат в пределах $1 \leq \kappa \leq 3$ [1], сделаем допущения, что при гидроабразивной обработке можно принять $\kappa = 2$.

После соответствующих преобразований получим зависимость:

$$H_{\text{yc}} = H_0 \sqrt{\frac{L_{\text{ср}}}{0,32h_{\max}z_0}} \quad (7)$$

Зная величину H_{yc} можно определить относительную опорную длину профиля. Установлено [1,2], что для различных видов абразивной обработки опорная кривая профиля обработанной поверхности хорошо описывается уравнением:

$$\frac{\sum L_i}{L} = e^{\left(\frac{\delta_i}{H_{\text{yc}}}\right)^{10}}, \quad (8)$$

где δ_i - уровень сечения профиля от линии впадин;

$\sum L_i$ - сумма длин отрезков, отсекаемых на уровне δ_i в материале профиля линией, эквидистантной средней линии, в пределах базовой длины.

При обработке свободными абразивами учитывая принятое допущение $k=2$ и приняв в среднем, для гидроабразивной обработки $m=0,54$, уравнение опорной кривой будет иметь вид:

$$\frac{\sum L_i}{L} = e^{-\left(\frac{\delta_i}{H_{yc}}\right)^3} \quad (9)$$

Теперь можно перейти к определению величины среднего арифметического отклонения профиля Ra при гидроабразивной обработке. Установлено [1,2], что параметры Ra и H_{yc} характеризуют вид опорной кривой шероховатости поверхности, но f_0 в свою очередь, определяется соотношением $\frac{H_{yc}}{Ra}$.

Распространив эту зависимость на процесс гидроабразивной обработки при $f_0 = 3$, можно принять $\frac{H_{yc}}{Ra} = 6,4$. Используя соотношение (6), после преобразований получим зависимость для определения среднего арифметического отклонения профиля установившейся шероховатости:

$$Ra = \frac{H_0}{3,6} \sqrt{\frac{L_{eo}}{h_{max} z_0}} \quad (10)$$

Для проведения расчетов необходимо определить величину разновысотности активных зерен H_0 . При гидроабразивной обработке значение H_0 не может быть определено экспериментально. Однако, величина H_0 зависит от зернистости абразивных частиц, режимов обработки и механических свойств материала обрабатываемой детали, т.е. от тех же параметров, что и h_{max} . При этом, согласно определению, ее значение должно быть меньше h_{max} . Для проведения теоретических расчетов, учитывая данные, приведенные в работах [1,2], сделаем допущение, что при гидроабразивной обработке:

$$H_0 = \frac{h_{max}}{3} \quad (11)$$

Тогда зависимости для расчёта условной высоты и среднего арифметического отклонения профиля установившейся шероховатости будут выглядеть следующим образом:

$$H_{yc} = 0,58 \sqrt{\frac{h_{max} L_{eo}}{z_0}}$$

$$Ra = 0,09 \sqrt{\frac{h_{max} L_{eo}}{z_0}}$$

Так как z_0 это число зерен проходящих через единичную длину в единицу времени, а λ это число взаимодействий в единицу времени на площади квадрата упаковки, то через сторону квадрата упаковки $2R$ будет проходить $\sqrt{\lambda}$ частиц, а через единичную длину будет проходить в $\frac{L_{eo}}{2R}$ больше частиц:

$$H_{yc} = 0,84 \sqrt{\frac{h_{max} R}{\sqrt{\lambda}}} \quad (12)$$

$$Ra = 0,13 k_{\alpha}^{Ra} \sqrt{\frac{h_{max} R}{\sqrt{\lambda}}} \quad (13)$$

где k_{α}^{Ra} – коэффициент, учитывающий угол падения струи.

Для анализа влияния размеров обрабатываемой среды, динамического давления пульпы и механических свойств материала детали на величину Ra при гидроабразивной обработке произведем расчеты по зависимости (13).

Таблица 1 - Значения среднего арифметического отклонения профиля установившейся шероховатости $Ra_{уст}$ (мкм) при гидроабразивной обработке в зависимости от давления струи $P_{дин}$ ($L=60$ мм, $\alpha=90^0$)

$P_{дин}$, МПа	Медь М06 $\sigma_s = 70$ МПа	Сталь 45 $\sigma_s = 350$ МПа
0,1	4,19	2,75
0,2	4,98	3,28
0,3	5,51	3,62
0,4	5,92	3,89

Таблица 2 - Значения среднего арифметического отклонения профиля установившейся шероховатости $Ra_{уст}$ (мкм) при гидроабразивной обработке в зависимости от расстояния до обрабатываемой поверхности L ($P_{дин}=0,4$ МПа, $\alpha=90^0$)

L , мм	Сталь 12X18H10T $\sigma_s = 230$ МПа	Алюминевый сплав Д16 $\sigma_s = 90$ МПа
30	3,99	4,91
60	4,13	5,02
90	4,01	4,79
120	3,77	4,61

Таблица 3 - Значения среднего арифметического отклонения профиля установившейся шероховатости $Ra_{уст}$ (мкм) при гидроабразивной обработке в зависимости от угла обработки α ($P_{дин}=0,4$ Мпа, $L=60$)

α^0	Латунь ЛС 59-1 $\sigma_s = 133$ Мпа	Сталь 45 $\sigma_s = 350$ Мпа
20	3,23	2,37
45	4,64	3,40
65	5,25	3,85

ВЫВОД

Проанализировав результаты теоретических расчетов, можно сделать следующие выводы:

1. Применение обрабатываемой среды (частиц) меньшего размера, а также уменьшение давления струи позволяет получить шероховатость поверхности с меньшим значением Ra .
2. При обработке более мягких материалов образуется более грубая шероховатость.
3. Полученные результаты имеют физический смысл и не противоречат установившимся представлениям о процессе гидроабразивной обработки.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Королев, А.В. Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке [Текст] / А.В. Королев. - Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. - 191 с.
2. Королев, А.В. Теоретико-вероятностные основы абразивной обработки [Текст] / А.В. Королев, Ю.К. Новоселов. - Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1989. - 320 с.
3. Богомолов, Н.И. О работе трения в абразивных процессах [Текст] / Н.И. Богомолов. - Труды ВНИИ-АШ. - 1965. - С. 27 - 29.
4. Тамаркин, М. А. Теоретические основы оптимизации процессов обработки деталей свободными абразивами [Текст] / М.А. Тамаркин. - Ростов - на - Дону, 1995.

Тихонов Александр Анатольевич
Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону
Доцент кафедры «Технология машиностроения»
тел. 273-83-85
E-mail: 753770@bk.ru

Тихонов Андрей Александрович
Донской государственный технический университет
Ассистент кафедры «Технология машиностроения»
тел. 8-918-545-00-11
E-mail: 2913090@bk.ru

A. A. TIKHONOV, A. A. TIKHONOV

STATISTICAL ANALYSIS OF PROBABILITY OF THE FORMATION OF SURFACE ROUGHNESS AT HYDROABRASIVE TREATMENT

The article presents a methodology of theoretical studies waterjet machining. The dependencies for the determination of metal removal and the arithmetic mean deviation of roughness profile established.

Keywords: waterjet machining, surface roughness, a single interaction, the effect of grain size.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Korolev, A.V. Tool and a detail surfaces formation processes robe at abrasive processing [Text] / A.V. Korolev. - Saratov: Publishing house of the Saratov university, 1975. - 191 p.
- [2] Korolev, A.V. Novoselov Ju.K. Probability-theoretic's basis of abrasive processing [Text] / A.V. Korolev, Ju. K. Novoselov. - Saratov: Publishing house of the Saratov university, 1989. - 320 p.
- [3] Bogomolov, N.I. About friction work in abrasive processes [Text] / works of VNIASH. - 1965. - Pp. 27 - 29.
- [4] Tamarkin, M. A. Theoretical bases of details free abrasants treatment processes optimization [Text] / M.A. Tamarkin. - Rostov-on-Don - 1995.

Tikhonov Alexander Anatolevich
Don state technical university, Rostov-on-Don
Senior lecturer of chair «Technology of mechanical engineering»
Phone. 273-83-85
E-mail: 753770@bk.ru

Tikhonov Andrey Aleksandrovich
Don state technical university
Assistant to chair «Technology of mechanical engineering»
Phone. 8-918-545-00-11
E-mail: 2913090@bk.ru

В.П. СМОЛЕНЦЕВ, А.В. КУЗОВКИН, И.Т. КОПТЕВ, Ю.С. ЗОЛОТОТРУБОВА

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРОДОМ-ИНСТРУМЕНТОМ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ

В статье рассмотрены вопросы проектирования технологических процессов электроэрозионной обработки с применением непрофилированного электрода на основе построения цифрового прототипа изделия и задания параметрических связей между профилем обрабатываемой поверхности и траекторией движения электрода-инструмента

Ключевые слова: электрод-инструмент, электрические методы обработки, цифровой прототип, технологический процесс

ВВЕДЕНИЕ

Основной особенностью гибкоструктурного основного производства является частая смена номенклатуры выпускаемых деталей и узлов и, как следствие, переналадка технологического оборудования не только основного, но и вспомогательного производств. Здесь под вспомогательным производством понимается разработка конструкций и технологий изготовления режущего инструмента и средств технологического оснащения процесса. На Воронежском механическом заводе - филиале ФГУП "ГКНПЦ им.М.В. Хруничева" (ВМЗ) в основу такого производства положено использование современного высокопроизводительного оборудования с числовым программным управлением как механообрабатывающей группы, так и станков для электрических методов обработки. Сроки подготовки и освоения производства на ВМЗ предельно сжаты и обеспечиваются за счет применения программных средств проектирования конструкции деталей, технологических процессов, их оптимизации и отладки и генерации управляющих программ для систем ЧПУ оборудования.

Применительно к рассматриваемому в настоящей работе мелкомодульному твердосплавному инструменту этот процесс выглядит следующим образом:

- получение технического задания на проектирование и производство инструмента;
- разработка конструкции инструмента на основе оптимальной геометрии и рациональном выборе твердосплавной режущей части;
- выбор и назначение режимов обработки с учетом имеющегося на предприятии оборудования;
- генерация, отладка и опытная апробация ЭЭО твердосплавной режущей части мелкомодульного инструмента;
- внесение, при необходимости, изменений в конструкцию и технологические режимы;
- повторная генерация и отладка управляющей программы для ЧПУ;
- передача технологического процесса в инструментальное производство и изготовление требуемого количества инструмента на электроэрозионном оборудовании с ЧПУ для нужд основного производства.

Примерные оценки времени на реализацию представленной последовательности действий показывают существенное его сокращение (в ряде случаев до 10-ти раз) по сравнению с традиционной технологией изготовления такого инструмента на основе шлифования алмазными кругами [1, 2].

Для сокращения времени на проектирование режущего инструмента в нашем случае использовался программный продукт *AutoDesk Inventor2012* (создание параметрических твердотельных моделей инструмента) и *InventorCAM2011* (разработка и отладка технологии ЭЭО и генерация управляющих программ для стоек ЧПУ), установленные на ВМЗ в конструкторских и технологических службах предприятия. Обмен информацией между компьютеризованными рабочими местами конструкторов и технологов осуществляется по внут-

ризаводской информационной сети с организацией электронного документооборота, что существенно сокращает сроки по согласованию технических и технологических вопросов внедрения технологии. С целью исключения определенной доли ошибок в проектировании инструмента была спроектирована твердотельная параметрическая модель заготовки (рисунок 1) для твердосплавного мелко модульного долбяка, которая позволяет:

- при проектировании различных типоразмеров мелко модульного зуборезного долбяка всегда оставаться в пределах его оптимальной геометрии, описанной выше (рисунок 2);
- сократить сроки проектирования, так как цифровой прототип будущего инструмента уже имеется, при этом смена материала режущей части с переопределением физико-механических свойств конструкции происходит практически мгновенно;
- осуществлять быстрый пересчет всех параметров эвольвентного профиля, в зависимости от типоразмеров обрабатываемого зубчатого колеса, для этого предусмотрена возможность контроля взаимодействия долбяка с обрабатываемым колесом малого модуля (рисунки 3 и 4).

Также указанные программные средства позволяют автоматизировать процесс оформления всей технической документации в соответствии с требованиями ЕСКД, включая рабочие и сборочные чертежи, спецификации, ведомости, карты техпроцессов и т.п.

Создание цифрового прототипа инструмента дает возможность моделирования технологии ЭЗО, ее отладку, коррекцию и визуализацию с помощью программного продукта *InventorCAM2011* (рисунок 5). При этом отрабатывается геометрия заготовки и готовой детали, которые передаются из *Inventor2012*, определяется траектория движения непрофилированного электрода-проволоки, назначаются режимы обработки (рисунки 6 и 7) и осуществляется визуальный контроль правильности созданного техпроцесса (рисунок 8). На окончательном этапе осуществляется генерация управляющей программы для стойки ЧПУ имеющегося на предприятии электроэрозионного оборудования.

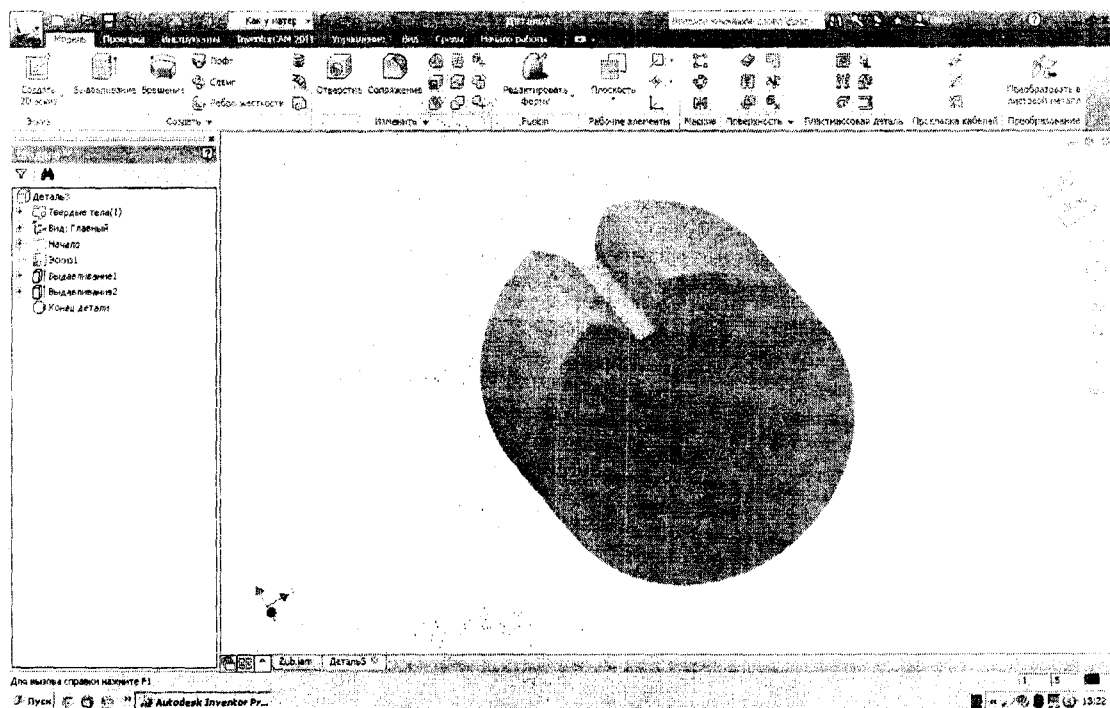


Рисунок 1 - Твердотельная параметрическая модель заготовки для мелко модульного твердосплавного долбяка

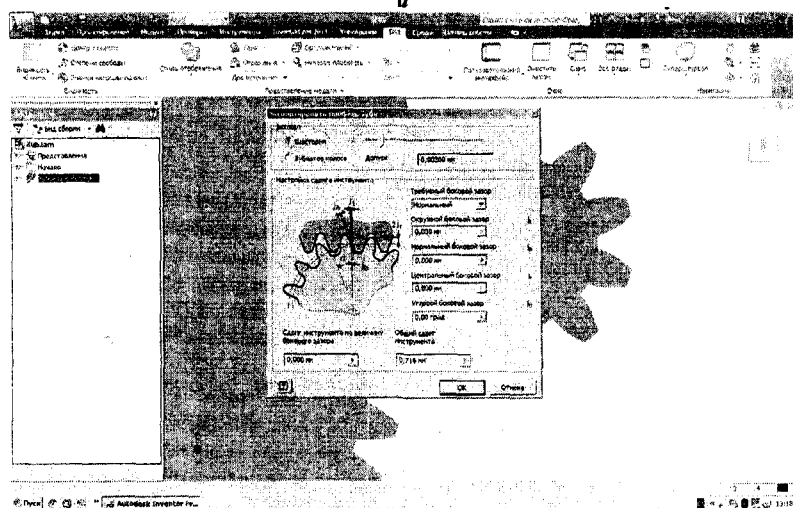
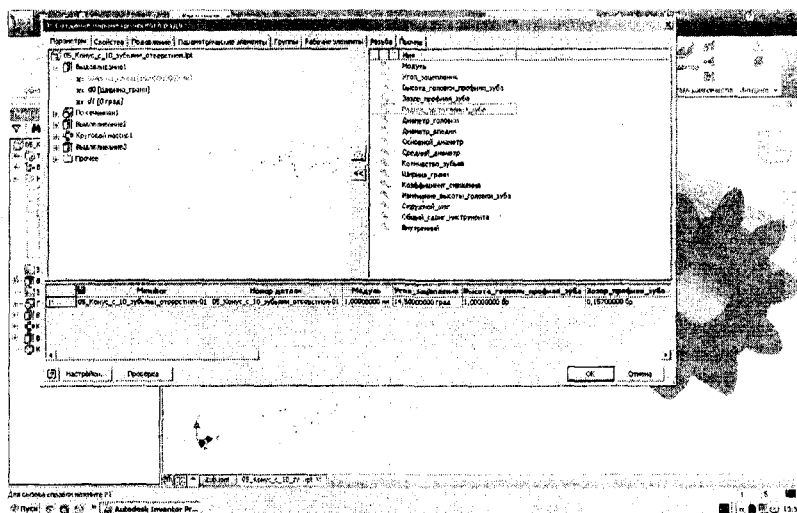


Рисунок 2 - Параметрическая модель мелко модульного инструмента с примером выбора параметров оптимальной геометрии (а) и с учетом условий обработки (б)

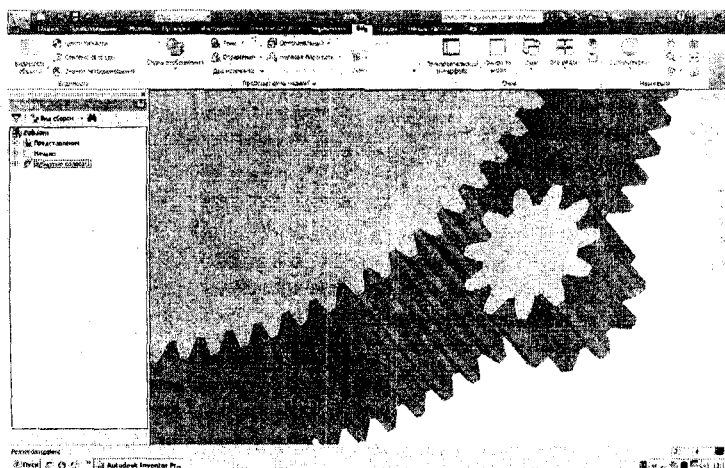


Рисунок 3 - Пример контроля зубообрабатывающего инструмента при контакте с объектом обработки

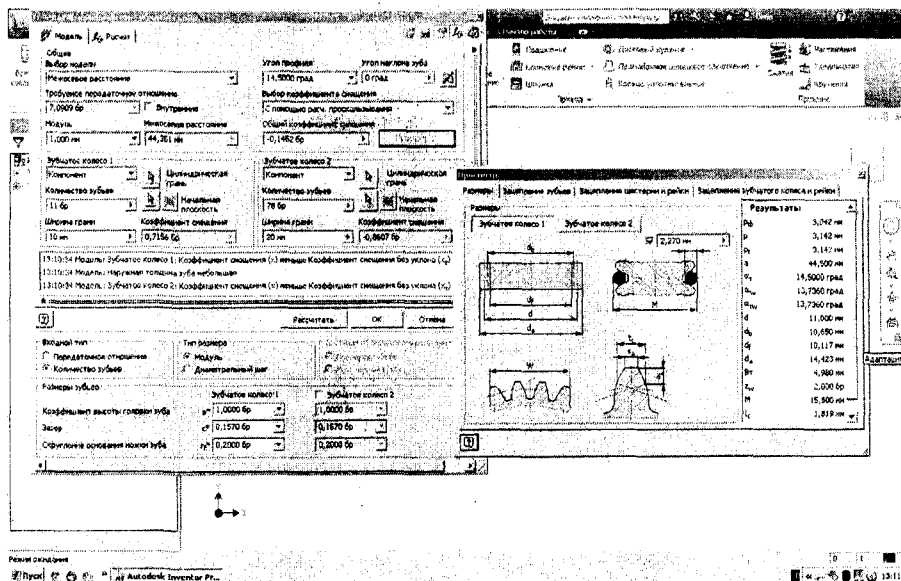


Рисунок 4 - Пример расчета параметров эвольвентного профиля для изменяющихся условий обработки

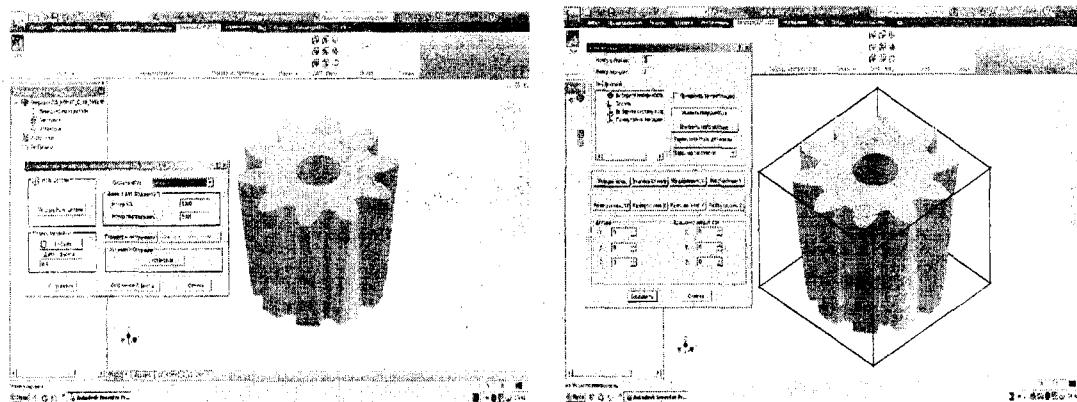


Рисунок 5 - Определение геометрии заготовки и детали в InventorCAM 2011

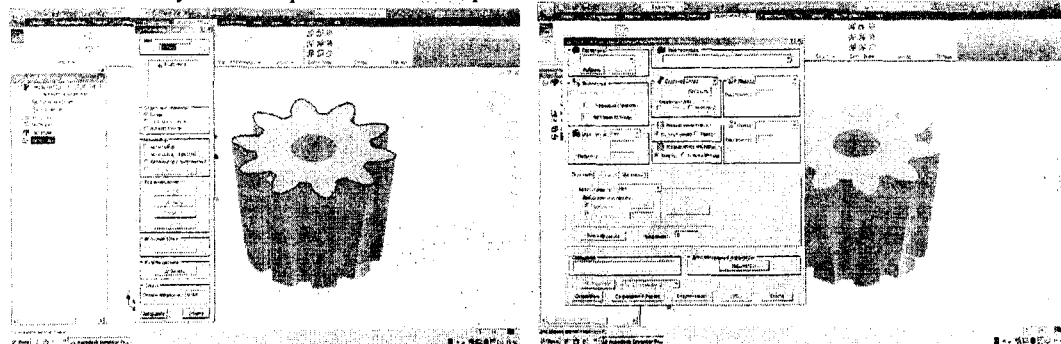


Рисунок 6 - Определение траектории движения непрофилированного электрода-проволоки

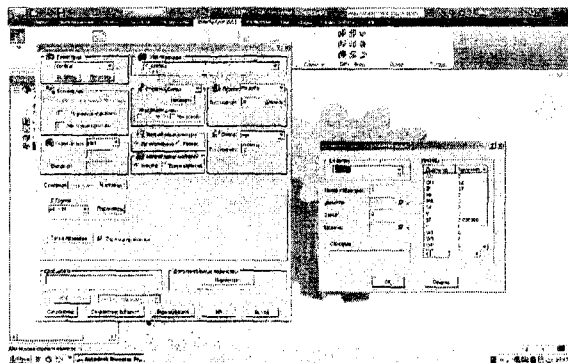


Рисунок 7 - Назначение режимов ЭЗО твердосплавного мелко модульного инструмента

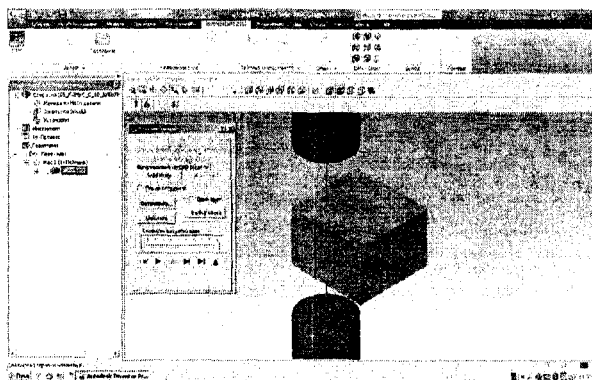


Рисунок 8 - Визуальный контроль и генерация управляющей программы по обработке долбька

Следует отметить, что создание цифрового прототипа конструкции мелко модульного долбька подразумевает под собой постоянное накопление конструкторской и технологической информации и связанных с ними управляющих программ. Причем интеграция *InventorCAM* в систему параметрического проектирования *Inventor2012* подразумевает под собой изменение управляющей программы при изменении цифрового прототипа. Таким образом, в течение достаточно короткого промежутка времени на предприятии накапливается большой объем информации, гарантирующий быструю смену номенклатуры выпускаемых инструментов в соответствии с требованиями основного производства. Примеры инструмента, изготовленного для нужд основного производства представлены на рисунке 9. При изготовлении зубчатых колес малого модуля, конструкция которых позволяет осуществлять свободный выход непрофилированного электрода-проволоки, так же возможно использование рассматриваемого метода ЭЗО при условии определения рациональных режимов обработки, учитывающих материал деталей.

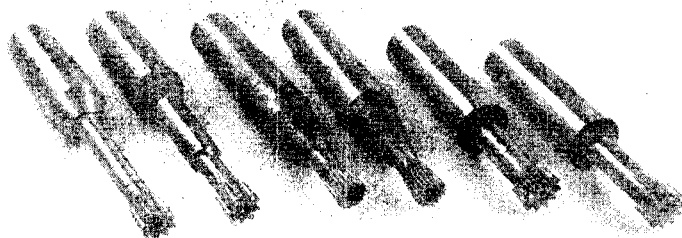


Рисунок 9 - Сборные твердосплавные мелко модульные долбьки, выполненные как по традиционной технологии, так и с применением ЭЗО на основе построения цифрового прототипа

ВЫВОДЫ

1. Показаны особенности изготовления мелко модульных долбяков в условиях гибко-структурного производства, учитывающих основные факторы их работы в условиях нарезания мелко модульных колес, выполненных из труднообрабатываемых материалов.

2. Показаны варианты реализации процесса конструкторской и технологической подготовки гибко-структурного производства мелко модульного сборного зубообрабатывающего инструмента, сокращающего сроки освоения выпуска новых типоразмеров долбяков до 10 раз.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Твердосплавные зуборезные инструменты [Текст] / Мойсеенко О.И., Павлов Л.Е., Диденко С.И. - М.: Машиностроение, 1997. - 190 с.

2. Кузовкин, А.В. Режимы электроэрозионной и комбинированной обработки электродом-проволокой / А.В. Кузовкин, А.И. Коптев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2012. - № 1. - С. 25 - 28.

Владислав Павлович Смоленцев

Доктор технических наук, профессор
ФГОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»

Тел: (473)2530973

E-mail: smolentsev.rabota@gmail.com

Иван Тихонович Коптев

Кандидат технических наук, профессор
ФГОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»

Тел: (473)2530973

Алексей Викторович Кузовкин

Доктор технических наук, профессор
ФГОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»

Тел: (473)2545684

E-mail: akuzovkin@mail.ru

Юлия Сергеевна Золототрубова

ФГОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»

Тел: (473)2545684

V.P. SMOLENTSEV, A.V. KUZOVKIN, I.T. KOPTEV, Y.S. ZOLOTOTRUBOVA

DEVELOPMENT PROCESS FOR PRODUCING PARTS TOOL-ELECTRODE BASED ON DIGITAL PROTOTYPING

The paper deals with the design process the electron troerozionnoy treatment withunprofiled electrode based on constructing a prototype digital products and tasksof parametric relationships between pro-lemma the workpiece and the trajectory ofthe tool-electrode

Keywords: *electrode-tool, electrical methods of processing, digital-hand the prototype process*

BIBLIOGRAPHY

[1] Tungsten carbide-cutting tools [Text] / O.I. Moyseyenko, L.E. Pavlov, S.I. Didenko - Moscow: Mashinostroenie, 1997. - 190 p.

[2] Kuzovkin, A.V. Modes of EDM and combined treatment electrodes-wire /A.V. Kuzovkin, A.I. Koptev // Fundamental and applied problems of engineering and technology. In 2012. - Number 1. - Pp. 25 - 28.

Vladislav Pavlovich Smolentsev

Doctor of Technical Sciences, Professor
FSEI of HPE "Voronezh State Technical University"
Tel: (473)2530973

E-mail: smolentsev.rabota@gmail.com

Ivan Tikhonovich Koptev

Candidate of Technical Sciences, Professor
FSEI of HPE "Voronezh State Technical University"
Tel: (473)2530973

Alexej Viktorovich Kuzovkin

Doctor of Technical Sciences, Professor
FSEI of HPE "Voronezh State Technical University"
Tel: (473)2545684

E-mail: akuzovkin@mail.ru

Yulya Sergeyevna Zolototrubova

FSEI of HPE "Voronezh State Technical University"
Tel: (473)2545684

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОГРУЖЕНИЯ СЕТНОЙ СТЕНКИ КОШЕЛЬКОВОГО НЕВОДА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТЕЧЕНИЯ

Успешная работа кошельковым неводом в значительной степени зависит от знания закономерностей его движения, умение контролировать и влиять на положение невода относительно дна и рыбных скоплений. Доказаны ограниченность возможностей применения результатов исследований и несоответствие результатов исследований реальным условиям промысла вследствие неточной оценки влияния гидродинамических сил на движение кошелькового невода при наличии течения. Разработаны математические модели (дифференциальные уравнения) процесса погружения сетной стенки кошелькового невода, состоящей из ниток. Приводится описание алгоритма расчета силовых и геометрических характеристик кошелькового невода при его погружении. Разработаны методики численного экспериментального исследования процесса погружения кошелькового невода при наличии течений в отсутствие волнения.

Ключевые слова: кошельковый невод, математическое моделирование, погружение, течение

Важным вопросом в теории замета кошелькового невода (рисунок 1), и наиболее влияющем на результаты промысла гидробионтов Мирового океана, является погружение сетной стенки кошелькового невода в условиях наличия подводного течения в районе промысла.

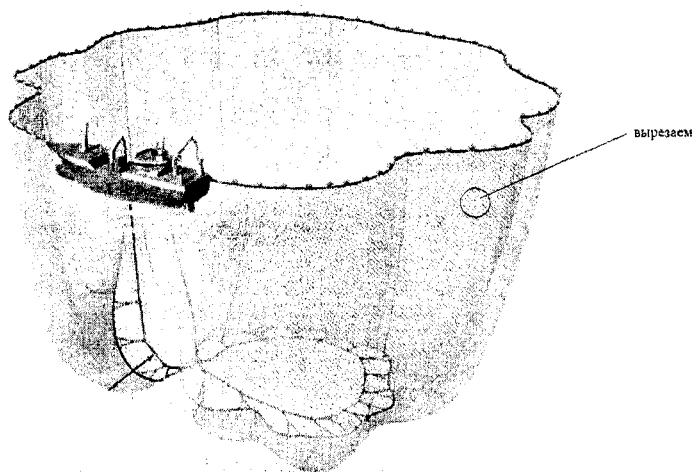


Рисунок 1 - Замет кошелькового невода

Движение кошелькового невода определяется действующими на него силами, к которым относятся силы веса невода, гидродинамические силы и силы связей с судном. Этот процесс - динамический. Особое значение имеет достаточно точный расчет, следовательно, и оценка влияния гидродинамических сил, что позволяет на стадии проектирования обоснованно определять необходимые параметры и характеристики невода и судовых механизмов, а в условиях промысла контролировать поведение кошелькового невода. При отсутствии течения проблема погружения сетной стенки кошелькового невода рассмотрена в работах [1,2]. В

качестве объекта рассмотрения бралась отдельная сетная полоска, состоящая из элементов - ниток и узлов, которые погружаются под действием собственного веса и веса в воде загрузки нижней подборы.

Целью настоящей научно-исследовательской работы является исследование влияния гидродинамических сил на движение кошелькового невода на различных этапах лова (погружение стенки кошелькового невода) и создание методики расчета гидродинамических сил при наличии подводного течения. Достигнутый уровень процесса исследования данной проблемы изложен в работах [3-10]. Наличие подводного течения усложняет задачу математического моделирования процесса погружения сетной стенки кошелькового невода на заданную глубину. Подводное течение вызывает перемещение элементов кошелькового невода и нижней подборы по оси ОХ (в горизонтальной плоскости). При написании дифференциальных уравнений погружения ниток (элементов сети) будет получена достоверная математическая модель, частный случай которой является математическая модель, описывающая процесс погружения кошелькового невода в отсутствии подводного течения [1]. Задача подготовки вышеуказанной математической модели сложна в составлении дифференциальных уравнений и их решении. Между тем, авторами настоящей статьи предприняли попытку составления и решения дифференциальных уравнений процесса погружения сетного элемента кошелькового невода при наличии течения, с учетом ряда допущений:

- рассматривается движение ниток, из которых изготовлена полоска сети по ширине равной 1 м;
- погружение сети вертикальное (полоска остается в плоскости ZOY);
- дель сети - регулярная, т.е. $d=\text{const}$ (диаметр нитки), $a=\text{const}$ (шаг ячеи) и $u_x=u_y=\text{const}$, причем $u_x=\sin\alpha$ и $u_y=\cos\alpha$ (посадочные коэффициенты сети);
- горизонтальные усилия от соседних частей кошелькового невода не учитываются;
- скорость подводного течения u_f имеет одинаковое значение по глубине водоема.

Изобразим на рисунке 2 погружение элемента сети.

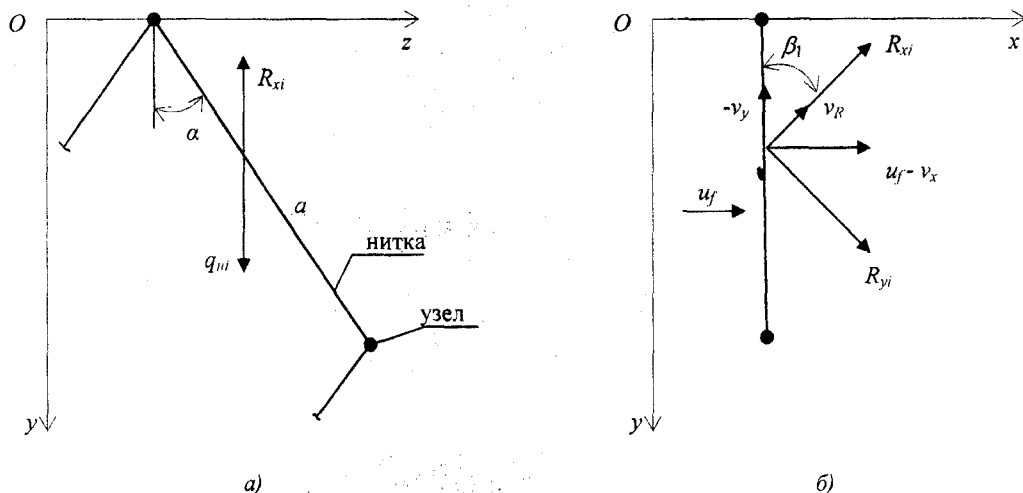


Рисунок 2 - Погружение нитки сетной полоски кошелькового невода

На рисунке 2 изображено: q_{ni} - вес в воде i -го элемента сети (нитки); R_{xi} - сопротивление i -го элемента сети (нитки); R_{yi} - подъемная сила i -го элемента сети (нитки); v_y - скорость движения i -го элемента сети (нитки) по оси ОУ; v_x - скорость движения i -го элемента сети (нитки) по оси ОХ; v_R - скорость воды относительно сети (элемента сети); β_1 - угол между вектором относительной скорости v_R и плоскостью ячеи (угол атаки).

Запишем уравнения движения элементов сетной полосы исходя из теоремы о производной количества движения при условии [11]:

$$\left\{ \begin{aligned} \left(\frac{q_l}{g} + \frac{qy}{gH} \right) \frac{dv_y}{dt} &= q_n + \frac{q}{H} y - \frac{\rho}{2} |v_R| v_y L (c_{90n} d_n + c_x y F_o) + \frac{c_y}{2} \rho y F_o L v_R^2 \sin(\beta_1) - \frac{q v_y^2}{gH} \\ \left(\frac{q_l}{g} + \frac{qy}{gH} \right) \frac{dv_x}{dt} &= -\frac{\rho}{2} |v_R| (u_f - v_x) L (c_{90n} d_n + c_x y F_o) + \frac{c_y}{2} \rho y F_o L v_R^2 \cos(\beta_1) \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

$$\beta_1 = \arctg \left(\frac{u_f - v_x}{v_y} \right), \quad (2)$$

$$|v_R| = \sqrt{v_y^2 + (u_f - v_x)^2}, \quad (3)$$

где H - высота сетной полосы кошелькового невода (высота невода); g - ускорение силы тяжести; y - глубина погружения элемента полосы сети; q - вес в воде полосы сети; q_n - вес в воде загрузки нижней подборы и отрезка стяжного троса, по длине равные L ; ρ - плотность воды; c_{90n} - коэффициент сопротивления нижней подборы, $c_{90n} = f(Re_n)$, ($Re_n = d_n v_R / \nu$); d_n - диаметр нижней подборы; ν - коэффициент кинематической вязкости воды; F_o - сплошность сети; c_x - коэффициент сопротивления нитки; c_y - коэффициент подъемной силы нитки.

Коэффициенты c_x и c_y определяются по формулам [12]

$$\tilde{n}_x = \tilde{n}_{90}^{1/2} 0,5 \left(1 - h_y^2 + (1 - h_y^2)^2 \right) + c_0 h_y^2, \quad (4)$$

или

$$\tilde{n}_x = \tilde{n}_{90} (1 - h_y^2), \quad (5)$$

где h_y - направляющий косинус, $h_y = h/a$, h - проекция i -й нитки на ось ОУ; c_{90} - коэффициент сопротивления нитки, расположенной перпендикулярно к вектору движения сети; c_0 - коэффициент сопротивления нитки, расположенной параллельно к вектору движения сети

$$\tilde{n}_{90} = b_1 k Re^{-b_2}, \quad (6)$$

где $b_1 = 3,0$ - коэффициент для гладких цилиндров; $b_1 = 4,2$ - коэффициент для капрона; $b_2 = 0,165$ - коэффициент для капроновой сети; $b_2 = 0,16$ - коэффициент для полиэтиленовой сети,

$$c_0 = b_3 k^{-1} Re^{-b_2}, \quad (7)$$

где $b_3 = 0,05$ - коэффициент для гладкого цилиндра, $b_3 = 0,1$ - для полиэтилена и капрона,

$$h = a \cos \alpha \cos \beta_1, \quad (8)$$

$$h_y = \cos \alpha \cos \beta_1. \quad (9)$$

Поправочный коэффициент k определяется по формуле

$$k = \frac{1}{1 + (d/a)^{1/3}}. \quad (10)$$

Решение системы дифференциальных уравнений (1) с учетом (2) и (3) производится в среде MathCad методом Ньютона. Произведем расчеты времени погружения стенки натурного кошелькового невода 740x150 м, имеющего максимальную высоту в посадке [7-10] $H=150$ м и длину 740 м; характеристики сетной полосы, шириной 1 м: $q_c=24$ Н; $q_n=42$ Н; $d=0,98$ мм; $a=16$ мм; $u_x=0,707$; $\rho=1034$ кг/м³; $\nu=1,3 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $F_o=0,123$; $q_c/q_n=0,571$; $u_f=0,05$ м/с. На рисунках 3 - 6 изображены графики зависимостей $y=f(t)$, $v_R=f(t)$, $v_x=f(t)$ и $y=f(x)$ построен-

ные с помощью системы уравнений (1) и (3) с учетом (2) - (10) для указанного выше примера.

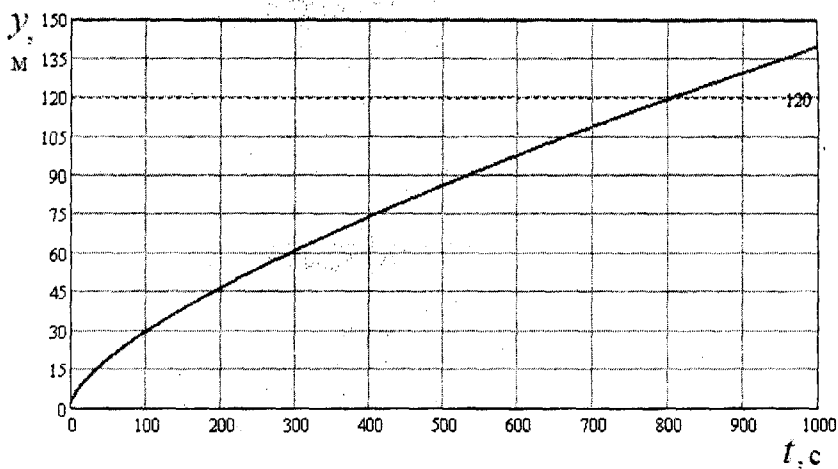


Рисунок 3 - Графики зависимости $y=f(t)$

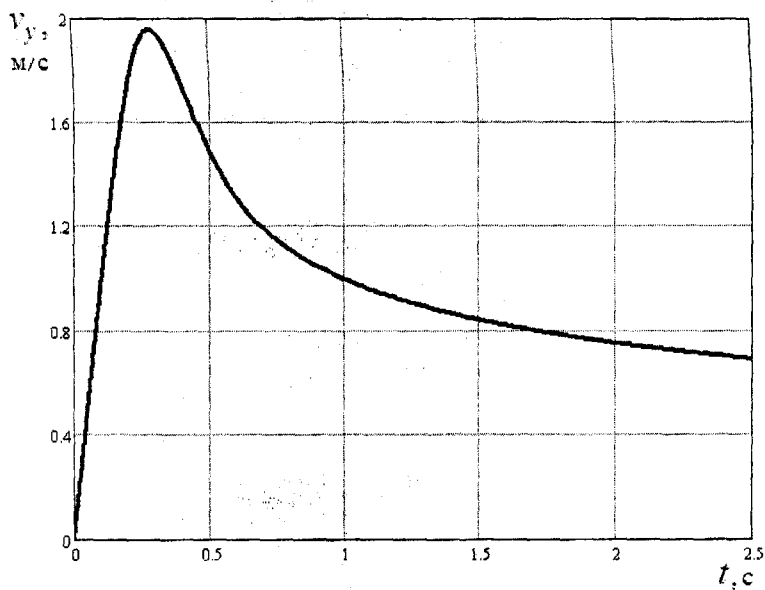


Рисунок 4 - Графики зависимости $v_y=f(t)$

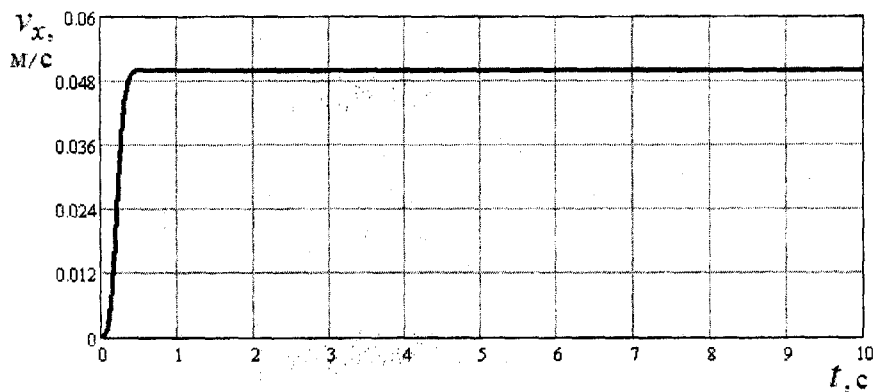


Рисунок 5 - Графики зависимости $v_x=f(t)$

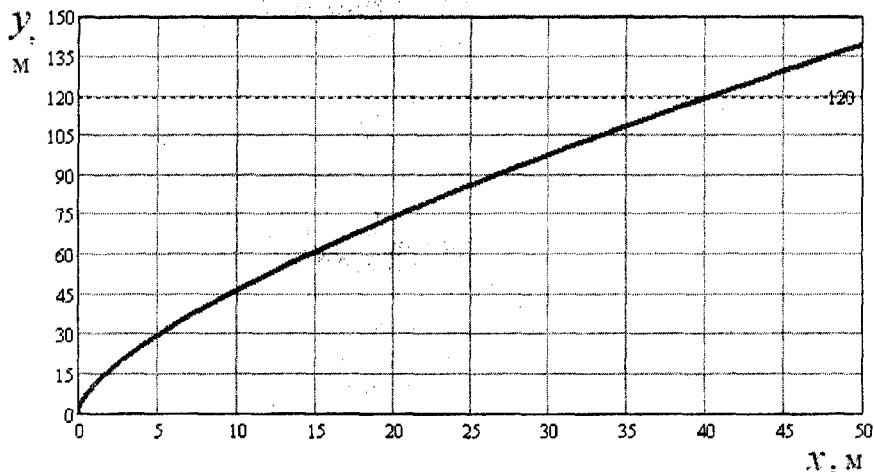


Рисунок 6 - Графики зависимости $y=f(x)$

Таким образом, разработаны математические модели (дифференциальные уравнения) процесса погружения сетной стенки кошелькового невода, состоящей из ниток с учетом подводного течения. Приводится описание алгоритма расчета силовых и геометрических характеристик кошелькового невода при его погружении. Разработаны методики численного экспериментального исследования процесса погружения кошелькового невода при наличии течений в отсутствие волнения.

Статья подготовлена в рамках выполнения гранта РФФИ № 11-08-00096-а.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Недоступ, А.А. Математическое моделирование процесса погружения стенки кошелькового невода [Текст] / А.А. Недоступ, А.В.Полозков // Рыбное хозяйство. - №3. - 2011. - С. 100-102.
2. Недоступ, А.А. Физическое моделирование процесса погружения стенки кошелькового невода [Текст] / А.А. Недоступ, А.В.Полозков // Рыбное хозяйство. - №6. - 2011. - С. 91-93.
3. Зверьков, В.П. Некоторые результаты исследования режимов работы высокостенными кошельковыми неводами на промысле скумбрии [Текст] / В.П. Зверьков // Известия ТИНРО. - 1971. - Том 76. - С. 156-167.
4. Белов, В.А. Гидродинамика нитей, сетей и сетных орудий лова [Текст] / В.А. Белов. - Калининград: ОАО «МариНПО», 2000. - 200 с.
5. Won, S. Model experiments to estimate a purse seine net shape during the shooting and pursuing [Text] / S. Won, C. Lee, Y. Kim, H. Kim. - Methods for the development and evaluation of maritime technologies. DEMAT 2001. V 2. - 2002. - Rostock. - Pp. 129 - 136.
6. Kim, K., Lee C-W., Kim H., Cha B. Verification of mathematical model on purse seine gear through sea trials and dynamic simulation [Text] / K.Kim, C.-W. Lee, H. Kim, B. Cha. International workshop - Methods for the development and evaluation of maritime technologies DEMAT 2005. V 4. 2006. Busan. - Pp. 27-40.
7. Исследование динамики кошельковых неводов на волнении, различных скоростях и направленности подводного течения [Текст] // отчет о НИР (промежуточный) : руководитель Белов В.А., 2806 НИО. - Калининград: НПО промысловства, 1982. - 56 с.
8. Исследование динамики кошельковых неводов на волнении, различных скоростях и направленности подводного течения [Текст] // Отчет о НИР (промежуточный) : руководитель Белов В.А., 3133 НИО. - Калининград: НПО промысловства, 1984. - 57 с.
9. Исследование гидродинамических сил, действующих на кошельковый невод [Текст] // Отчет о НИР: Руководитель Белов В.А., 2818 НИО. - Калининград: НПО промысловства, 1986. - 63 с.

10. Исследование гидродинамических сил, действующих на кошельковый невод [Текст] // Отчет о НИР: Руководитель Белов В.А., 2818 НИО. - Калининград: НПО промысловства, 1988. - 76 с.
11. Наумов, В.А. Механика движения неоднородных сред [Текст] / В.А. Наумов. - Издательство ФГОУ ВПО «КГТУ». - Калининград, 2005. - 125 с.
12. Недоступ, А.А. Методы расчета пассивных сетных орудий внутреннего и прибрежного рыболовства [Текст]: монография / А.А. Недоступ. - Калининград: Издательство ФГОУ ВПО «КГТУ», 2010. - 280 с.

Недоступ Александр Алексеевич
ФГБОУ ВПО «Калининградский
государственный технический уни-
верситет», г. Калининград
кандидат технических наук, про-
ректор по научной работе, зав. ка-
федрой промышленного рыболов-
ства
E-mail: nedostup@kltu.ru
E-mail: anedostup@yahoo.com

Наумов Владимир Аркадьевич
ФГБОУ ВПО «Калининградский
государственный технический
университет», г. Калининград
доктор технических наук, зав. ка-
федрой водных ресурсов и водо-
пользования
E-mail: van-old@rambler.ru

Ражев Алексей Олегович
ФГБОУ ВПО «Калининградский
государственный технический
университет», г. Калининград
аспирант кафедры промышленного
рыболовства

A.A. NEDOSTUP, V.A. NAUMOV, A.O. RAZHEV

MATHEMATICAL MODELLING OF PROCESS OF IMMERSING NETTING OF PURSE SEINE UNDER ACTION OF CURRENT

*Successful operation of purse seine substantially depends on knowledge of laws of its move-
ment, ability to supervise and influence position of a seine concerning a bottom and fish a congestion.
Limitation of possibilities of application of results of researches and discrepancy of results of re-
searches to real conditions of a craft owing to an inexact estimation of influence of hydrodynamic
forces on movement of netting of purse seine in the presence of a current are proved. Mathematical
models (the differential equations) immersing process of netting of purse seine, consisting of threads
are developed. The description of algorithm of calculation of force and geometrical characteristics of
purse seine is resulted at its immersing. Techniques of a numerical experimental research of process
of immersing of netting of purse seine in the presence of currents for lack of excitement are developed.*

Keyword: purse seine, mathematical modelling, immersing, current

BIBLIOGRAPHY

- [1] Nedostup, A.A. Mathematical modeling of purse-shaped seine wall immersing process [Text] / A.A. Nedostup, A.V. Polozkov // A fish economy. - №3. - 2011. - Pp. 100-102.
- [2] Nedostup, A.A. Physical modeling of purse-shaped seine wall immersing process [Text] / A.A. Nedostup, A.V. Polozkov // A fish economy. - №6. - 2011. - Pp. 91-93.
- [3] Zver'kov, V.P. Some results of high-walls purse-shaped seines behavior modesprobe on a mackerel craft [Text] / V.P. Zver'kov. - News TINRO. - 1971. - Part 76. - P. 156-167.
- [4] Belov, V. A. Hydrodynamics of catching threads, networks and net tools [Text] / V.A. Belov. - Kalinin-grad: OAS «MariHPO». - 2000. - 200 p.
- [5] Won, S. Model experiments to estimate a purse seine net shape during the shooting and pursuing [Text] / S. Won, C. Lee, Y. Kim, H. Kim. - Methods for the development and evaluation of maritime technologies. DEMAT 2001. V 2. - 2002. - Rostock. - Pp. 129 - 136.
- [6] Kim, K., Lee C-W., Kim H., Cha B. Verification of mathematical model on purse seine gear through sea trials and dynamic simulation [Text] / K.Kim, C.-W. Lee, H. Kim, B. Cha. International workshop - Methods for the development and evaluation of maritime technologies DEMAT 2005. V 4. 2006. Busan. - Pp. 27-40.
- [7] Dynamics probe of purse-shaped seines on excitement, various speeds and an undercurrent orientation [Text] // the Report about SRW(intermediate): the Head Belov V.A, 2806 SRS. - Kaliningrad: NPO promrybolovstva. - 1982. - 56 p.
- [8] Dynamics probe purse-shaped seines on excitement, various speeds and an undercurrent orientation [Text] / the Report about НИР (intermediate): the Head Belov V. A, 3133 SRS. - Kaliningrad: NPO promrybolovstva. - 1984. - 57 p.
- [9] Probe of the hydrodynamic forces operating on a purse-shaped seine [Text] / the Report about SRW: Head is Belov V.A., 2818 SRS. - Kaliningrad: NPO promrybolovstva. - 1986. - 63 p.

[10] Probe of the hydrodynamic forces operating on a purse-shaped seine [Text] / the Report about SRW: Head is Belov V.A., 2818 SRS. - Kaliningrad: NPO promrybolovstva. - 1988. - 76 p.

[11] Naumov, V. A. Mechanics of non-uniform environments movement [Text] / A.A. Nedostup, A.V. Polozkov // Publishing house FSTU HPE "KSTU". - Kaliningrad. - 2005. - 125 p.

[12] Nedostup, A.A. Methods of calculation passive net tools for internal and coastal fishery [Text] monography / A.A. Nedostup, A.V. Polozkov. - Publishing house FSTU HPE "KSTU". - Kaliningrad. - 2010. - 280 p.

Недоступ Александр Алексеевич
FSBEO HPE «Kaliningrad state technical university», Kaliningrad
Cand.Tech.Sci., the pro-rector on scientific work, a head of industrial fishery chair
E-mail: nedostup@klgtu.ru
E-mail: anedostup@yahoo.com

Наумов Владимир Аркадьевич
FSBEO HPE «Kaliningrad state technical university», Kaliningrad
Doctor Tech. Sci., a head of water resources and water use chair,
E-mail: van-old@rambler.ru

Ражев Алексей Олегович
FSBEO HPE «Kaliningrad state technical university», Kaliningrad
a post-graduate student industrial fishery chair

УДК 687.022

А.А. ЧЕРЕПЕНЬКО, А.П. ЧЕРЕПЕНЬКО

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ГЛАДИЛЬНОЙ ПОДУШКИ

В статье представлено аналитическое описание, в виде математической модели, рабочих поверхностей гладильных подушек при выравнивании. Полученная модель позволяет рассчитывать на ЭВМ деформации и напряжения, возникающие в рабочей поверхности подушки в процессе придания высоких прочностных качеств.

Ключевые слова: рабочие поверхности гладильных подушек

Одним из наиболее приемлемых широко используемых в швейном машиностроении является способ изготовления алюминиевых рабочих поверхностей гладильных подушек литьем в песчано-глинистые формы, с последующей частичной механической обработкой.

Однако известный способ не исключает необратимых деформаций по длине рабочих поверхностей в результате напряжений, вызванных знакопеременными циклическими тепловыми и механическими нагрузками в процессе эксплуатации.

Деформация рабочих поверхностей вызывает их неэквидистантность более допустимой (1 мм на длине 1000 мм) и приводит к снижению качества швейных изделий, а также к уменьшению срока службы гладильных подушек.

Для придания рабочей поверхности гладильной подушки высоких прочностных качеств производится циклическая последовательность сжиманий подушки распределенной вертикальной нагрузкой при ее нагреве. В данной статье описывается математически цикл такого процесса.

Рассматриваем рабочую поверхность гладильной подушки как некоторую оболочку, т.е. тонкую пластину с искривленной формой. Известно, [1], в оболочке энергия деформации растяжения намного больше энергии деформации чистого изгиба. Учитывая, что деформация оболочки происходит так, чтобы энергия деформации была минимальна, можно сделать вывод: деформация оболочки будет сопровождаться в основном деформацией чистого изгиба при наличии небольших деформаций растяжения.

Для получения уравнений, описывающих деформацию оболочки, вычислим отдельно энергию деформации чистого. При чистом изгибе в качестве нейтральной поверхности возьмем поверхность, расположенную посередине оболочки. Выберем систему координат с началом в центральной точке нейтральной поверхности и осью O_z , направленной вертикально. Будем предполагать, что оболочка подвергается тепловому расширению, связанному с ее нагревом, и вертикальной, равномерно распределенной нагрузке G . Обозначим вертикальное

смещение точек нейтральной поверхности через $\vartheta(x, y)$. При чистом изгибе получим уравнения для вектора смещения $u^0 = (u_x^0, u_y^0, u_z^0)$ точек нейтральной поверхности: $u_x^0 = 0$; $u_y^0 = 0$; $u_z^0 = \vartheta(x, y)$ и граничные условия для напряжений:

$$\sigma_{xz} = \sigma_{yz} = 0; \sigma_{zz} = 0 \quad (1)$$

где $\sigma_{xz}, \sigma_{yz}, \sigma_{zz}$ - компоненты тензора деформации.

В дальнейшем положим справедливым равенство (1) по всей толщине оболочки и определим компоненты тензора деформации из этого условия. Далее имеем [1]:

$$\sigma_{xx} = \frac{E}{1+\sigma} \cdot u_{xx}; \sigma_{yy} = \frac{E}{1+\sigma} \cdot u_{yy}; \sigma_{zz} = \frac{E \cdot [(1-\sigma) \cdot u_{zz} + \sigma \cdot (u_{xx} + u_{yy})]}{(1+\sigma) \cdot (1-2\sigma)} \quad (2)$$

E - модуль Юнга; σ - коэффициент Пуассона, $u_{zx}, u_{zy}, u_{xx}, u_{yy}, u_{zz}$ - компоненты тензора деформации. Учитывая (2), получим:

$$\left. \begin{aligned} u_{xz} = u_{zx} = 0 &\Rightarrow \frac{\partial u_x}{\partial z} = -\frac{\partial u_z}{\partial x} \\ u_{yz} = u_{zy} = 0 &\Rightarrow \frac{\partial u_y}{\partial z} = -\frac{\partial u_z}{\partial y} \\ u_{zz} &= \frac{\sigma}{1-\sigma} \cdot (u_{xx} + u_{yy}) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где u_x, u_y, u_z - компоненты вектора смещения произвольной точки оболочки.

Подставим в первые два уравнения системы (3) зависимость

$$u_z = \vartheta(x, y), \text{ тогда получим: } \frac{\partial u_x}{\partial z} = -\frac{\partial \vartheta}{\partial x}; \quad \frac{\partial u_y}{\partial z} = -\frac{\partial \vartheta}{\partial y}.$$

Откуда получаем:

$$u_x = -z \cdot \frac{\partial \vartheta}{\partial x}; \quad u_y = -z \cdot \frac{\partial \vartheta}{\partial y}.$$

Постоянные интегрирования положены равными нулю, чтобы при $z=0$ имело место равенство $u_x = u_y = 0$. Зная u_x, u_y , можно определить все компоненты тензора деформации:

$$\left. \begin{aligned} u_{xx} &= -z \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x^2}; u_{yy} = -z \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial y^2}; u_{xy} = -z \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x \partial y} \\ u_{xz} &= u_{yz} = 0; u_{zz} = z \cdot \left(\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial y^2} \right) \cdot \frac{\sigma}{1-\sigma} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Вычислим свободную энергию F единицы объема оболочки на основе формулы [1]:

$$F = \frac{E}{2(1+\sigma)} \left(u_k^2 + \frac{\sigma}{1-2\sigma} u_l^2 \right) i, k, l = 1, 2, 3 \quad (5)$$

К выражению (5) следует добавить член $-K \cdot \beta \cdot (T(z) - T_0)$,

где β - коэффициент теплового расширения оболочки, K - модуль всестороннего сжатия, $T(z)$ - температура оболочки в зависимости от расстояния z от нейтральной поверхности, T_0 - первоначальная температура оболочки.

Учитывая формулу (4), получим:

$$\begin{aligned} F &= z^2 \frac{E}{1+\sigma} \left\{ \frac{1}{2(1-\sigma)} \left(\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial y^2} \right)^2 + \left[\left(\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x \partial y} \right)^2 - \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial y^2} \right] \right\} - \\ &- K \cdot \beta \cdot (T(z) - T_0) \end{aligned} \quad (6)$$

Полную свободную энергию оболочки получим интегрированием по всему ее объему. Интегрирование по z производим в пределах от $-\frac{h}{2}$ до $\frac{h}{2}$, где h - толщина оболочки, а по x, y - по всей поверхности оболочки.

Пусть первоначальная форма оболочки описывается уравнением $z = g(x, y)$, тогда полная свободная энергия F_s деформированной оболочки описывается в виде ($\vartheta_s = \theta(x, y) + g(x, y)$):

$$-2K \cdot \beta \cdot (1 - \sigma) \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} (T(z) - T_0) dz \iint_D \sqrt{1 + \left(\frac{\partial \vartheta_s}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \vartheta_s}{\partial y} \right)^2} dx dy;$$

$$\psi(x, y) = \left(\frac{\partial^2 g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} \right) + 2(1 - \sigma) \left\{ \left(\frac{\partial^2 g}{\partial x^2} \right)^2 - \frac{\partial^2 g}{\partial x^2} \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} \right\}.$$

После того, как получено выражение для свободной энергии, можно рассматривать оболочку как геометрическую поверхность, которая характеризуется уравнением $z(x, y) = \theta(x, y) + g(x, y)$

Согласно принципу равновесия приравняем ноль сумму вариации δF_s и вариации δU потенциальной энергии оболочки, связанной с наличием вертикальной, равномерно распределенной нагрузки G . Вариация δU определяется согласно [1] уравнением:

$$\delta U = \iint_D \sqrt{G} dx dy \delta g.$$

Введем обозначения:

$$-2K \cdot \beta \cdot (1 - \sigma) \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} (T(z) - T_0) dz = Q; \quad g(x, y) = \sqrt{1 + \left(\frac{\partial \vartheta_s}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \vartheta_s}{\partial y} \right)^2};$$

$$S(x, y) = (\psi(x, y) + Q) \cdot g(x, y); \quad -B = \frac{Eh^3}{24(1 - \sigma^2)}$$

$$\vartheta_x = \frac{\partial \vartheta}{\partial x}; \vartheta_y = \frac{\partial \vartheta}{\partial y}; \vartheta_{xx} = \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x^2}; \vartheta_{yy} = \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial y^2}; \vartheta_{xy} = \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x \partial y};$$

$$\vartheta_{xxx} = \frac{\partial^3 \vartheta}{\partial x^3}; \vartheta_{xyx} = \frac{\partial^3 \vartheta}{\partial x^2 \partial y}; \vartheta_{xyy} = \frac{\partial^3 \vartheta}{\partial x \partial y^2}; \vartheta_{yyy} = \frac{\partial^3 \vartheta}{\partial y^3}$$

С учетом вариации δF_s [2] получим уравнение в частных производных:

$$\frac{\delta S}{\delta \vartheta} - \frac{\partial \delta S}{\partial x} \frac{\partial \vartheta}{\partial x} - \frac{\partial \delta S}{\partial y} \frac{\partial \vartheta}{\partial y} + \frac{\partial^2 \delta S}{\partial x^2} \frac{\partial \vartheta}{\partial x} + \frac{\partial^2 \delta S}{\partial x \partial y} \frac{\partial \vartheta}{\partial y} + \frac{\partial^2 \delta S}{\partial y^2} \frac{\partial \vartheta}{\partial y} = \frac{G}{B} \cdot g(x, y).$$

Далее имеем:

$$\frac{\partial g(x, y)}{\partial \vartheta_x} = \frac{\frac{\partial \vartheta_s}{\partial x}}{g(x, y)}; \frac{\partial g(x, y)}{\partial \vartheta_y} = \frac{\frac{\partial \vartheta_s}{\partial y}}{g(x, y)}; \frac{\delta S}{\delta \vartheta} = 0$$

$$\frac{\delta S}{\delta \vartheta_x} = \frac{(\psi(x, y) + Q) \frac{\partial \vartheta_s}{\partial x}}{g(x, y)}; \frac{\delta S}{\delta \vartheta_y} = \frac{(\psi(x, y) + Q) \frac{\partial \vartheta_s}{\partial y}}{g(x, y)};$$

$$\frac{\partial}{\partial g_{xx}} = 2 \left(\frac{\partial^2 g}{\partial x^2} + \sigma \cdot \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} \right) \cdot g(x, y), \quad \frac{\partial}{\partial g_{yy}} = 2 \left(\sigma \cdot \frac{\partial^2 g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} \right) \cdot g(x, y); \quad (10)$$

$$\frac{\partial^2 S}{\partial g_{xy}} = 4(1 - \sigma) \frac{\partial^2 g}{\partial x \partial y} \cdot g(x, y). \quad (11)$$

Для любой гладкой функции $f(x, y)$ справедливы равенства:

$$\frac{\partial(f \cdot g(x, y))}{\partial x} = \frac{\partial f}{\partial x} g(x, y) + \frac{\partial g(x, y)}{\partial x} f; \quad (12)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{f \cdot g(x, y)}{\partial y} \right) = \frac{\partial f}{\partial y} g(x, y) + \frac{\partial g(x, y)}{\partial y} f; \quad (13)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{f \cdot g(x, y)}{\partial x^2} \right) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} g(x, y) + 2 \frac{\partial g(x, y)}{\partial x} \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial^2 g(x, y)}{\partial x^2} f; \quad (14)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial y^2} \left(\frac{f \cdot g(x, y)}{\partial y^2} \right) = \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} g(x, y) + 2 \frac{\partial g(x, y)}{\partial y} \frac{\partial f}{\partial y} + \frac{\partial^2 g(x, y)}{\partial y^2} f; \quad (15)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \left(\frac{f \cdot g(x, y)}{\partial x \partial y} \right) = \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} g(x, y) + \frac{\partial g(x, y)}{\partial y} \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial g(x, y)}{\partial x} \frac{\partial f}{\partial y} + \frac{\partial^2 g(x, y)}{\partial x \partial y} f. \quad (16)$$

Пусть: $m(x, y) = 1 + \left(\frac{\partial g}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y} \right)^2$; $g(x, y) = \sqrt{m(x, y)}$

Тогда:

$$\frac{\partial g(x, y)}{\partial x} = \frac{\frac{\partial m(x, y)}{\partial x}}{2\sqrt{m(x, y)}} \quad (17)$$

$$\frac{\partial m(x, y)}{\partial x} = 2 \frac{\partial g_x}{\partial x} \cdot \frac{\partial^2 g_x}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial g_x}{\partial y} \cdot \frac{\partial^2 g_x}{\partial y \partial x};$$

$$\frac{\partial g(x, y)}{\partial y} = \frac{\frac{\partial m(x, y)}{\partial y}}{2\sqrt{m(x, y)}} \quad (18)$$

$$\frac{\partial m(x, y)}{\partial y} = 2 \frac{\partial g_y}{\partial y} \cdot \frac{\partial^2 g_y}{\partial y^2} + 2 \frac{\partial g_y}{\partial x} \cdot \frac{\partial^2 g_y}{\partial x \partial y};$$

$$\frac{\partial^2 g(x, y)}{\partial x^2} = \frac{2 \frac{\partial^2 m(x, y)}{\partial x^2} g^2(x, y) - \left(\frac{\partial m(x, y)}{\partial x} \right)^2}{4g^3(x, y)} \quad (19)$$

$$\frac{\partial^2 m(x, y)}{\partial x^2} = 2 \left\{ \left(\frac{\partial^2 g_x}{\partial x^2} \right)^2 + \frac{\partial g_x}{\partial x} \cdot \frac{\partial^3 g_x}{\partial x^3} + \left(\frac{\partial^2 g_x}{\partial y \partial x} \right)^2 + \frac{\partial g_x}{\partial y} \cdot \frac{\partial^3 g_x}{\partial y \partial x^2} \right\};$$

$$\frac{\partial^2 g(x, y)}{\partial y^2} = \frac{2 \frac{\partial^2 m(x, y)}{\partial y^2} g^2(x, y) - \left(\frac{\partial m(x, y)}{\partial y} \right)^2}{4m^3(x, y)} \quad (20)$$

$$\frac{\partial^2 m(x, y)}{\partial y^2} = 2 \left\{ \left(\frac{\partial^2 g_y}{\partial y^2} \right)^2 + \frac{\partial g_y}{\partial y} \cdot \frac{\partial^3 g_y}{\partial y^3} + \left(\frac{\partial^2 g_y}{\partial x \partial y} \right)^2 + \frac{\partial g_y}{\partial x} \cdot \frac{\partial^3 g_y}{\partial x^2 \partial y} \right\};$$

$$\frac{\partial^2 g(x, y)}{\partial x \partial y} = \frac{2 \frac{\partial^2 m(x, y)}{\partial x \partial y} g^2(x, y) - \frac{\partial m(x, y)}{\partial x} \cdot \frac{\partial m(x, y)}{\partial y}}{4g^3(x, y)} \quad (21)$$

$$\frac{\partial^2 m(x, y)}{\partial y \partial x} = 2 \left\{ \frac{\partial^2 g_x}{\partial y \partial x} \cdot \frac{\partial^2 g_y}{\partial x^2} + \frac{\partial g_y}{\partial x} \cdot \frac{\partial^3 g_y}{\partial x^2 \partial y} + \frac{\partial^2 g_y}{\partial y^2} \cdot \frac{\partial^2 g_y}{\partial y \partial x} + \frac{\partial g_y}{\partial y} \cdot \frac{\partial^3 g_y}{\partial y^2 \partial x} \right\}$$

Введем оператор Лапласа: $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ далее имеем:

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = 2\Delta g \left(\frac{\partial^3 g}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 g}{\partial x \partial y^2} \right) + 2(1-\sigma) \left[2 \frac{\partial^2 g}{\partial x \partial y} \frac{\partial^3 g}{\partial x^2 \partial y} - \frac{\partial^2 g}{\partial x^3} \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 g}{\partial x^2} \frac{\partial^3 g}{\partial y^2 \partial x} \right]; \quad (22)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial y} = 2\Delta g \left(\frac{\partial^3 g}{\partial y^3} + \frac{\partial^3 g}{\partial y \partial x^2} \right) + 2(1-\sigma) \left[2 \frac{\partial^2 g}{\partial x \partial y} \frac{\partial^3 g}{\partial y^2 \partial x} - \frac{\partial^2 g}{\partial x^2 \partial y} \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 g}{\partial x^2} \frac{\partial^3 g}{\partial y^3} \right] \quad (23)$$

Введем функции:

$$\begin{aligned} \Phi_1(g_x, g_y, g_{xx}, g_{yy}, g_{xy}, g_{xxx}, g_{xxy}, g_{xyy}, g_{xyx} = \\ = \frac{2 \left(\frac{\partial \psi(x, y)}{\partial x} \right) \cdot \left(\frac{\partial g}{\partial x} + g_x \right) + \frac{\partial \psi(x, y)}{\partial y} \cdot \left(\frac{\partial g}{\partial y} + g_y \right) \cdot m(x, y)}{4m^2(x, y)} + \end{aligned} \quad (24)$$

$$+ \frac{(\psi(x, y) + Q) \cdot \left(2(\Delta g + \Delta \theta) \cdot m(x, y) - \left(\frac{\partial m}{\partial x} + \frac{\partial m}{\partial y} \right) \right)}{4m^2(x, y)}$$

$$\begin{aligned} \Phi_2(g_x, g_y, g_{xx}, g_{yy}, g_{xy}, g_{xxx}, g_{xxy}, g_{xyy}, g_{xyx} = \\ = \frac{\frac{\partial m}{\partial x} \left(\frac{\partial^3 g}{\partial x^3} + (2-\sigma) \cdot \frac{\partial^3 g}{\partial y^2 \partial x} \right) + \frac{\partial m}{\partial y} \left(\frac{\partial^3 g}{\partial y^3} + (2-\sigma) \cdot \frac{\partial^3 g}{\partial x^2 \partial y} \right)}{4m^2(x, y)} + \end{aligned} \quad (25)$$

$$+ \frac{\frac{\partial^2 g}{\partial x^2} \left(\frac{\partial^2 g}{\partial x^2} + \sigma \cdot \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} \cdot \left(\frac{\partial^2 g}{\partial y^2} + \sigma \cdot \frac{\partial^2 g}{\partial x^2} \right) + 2(1-\sigma) \cdot \frac{\partial^2 g}{\partial x \partial y} \cdot \frac{\partial^2 g}{\partial x \partial y}}{g(x, y)}$$

Введем функцию:

$$\begin{aligned} \Phi(g_x, g_y, g_{xx}, g_{yy}, g_{xy}, g_{xxx}, g_{xxy}, g_{xyy}, g_{xyx}) = \\ = \Phi_2(g_x, g_y, g_{xx}, g_{yy}, g_{xy}, g_{xxx}, g_{xxy}, g_{xyy}, g_{xyx}) - \\ - \Phi_1(g_x, g_y, g_{xx}, g_{yy}, g_{xy}, g_{xxx}, g_{xxy}, g_{xyy}, g_{xyx}) \end{aligned}$$

Учитывая формулы (8-25), получим из(7):

$$\Delta^2 g(x, y) + \Phi(g_x, g_y, g_{xx}, g_{yy}, g_{xy}, g_{xxx}, g_{xxy}, g_{xyy}, g_{xyx}) = \frac{G}{2B} \quad (26)$$

Уравнение (26) представляет собой нелинейное уравнение в частных производных четвертого порядка, которое необходимо решать при граничных условиях (зашемленные концы).

$$g(x, y)|_{(x, y) \in \Gamma} = 0, \quad \frac{\partial g}{\partial n}|_{(x, y) \in \Gamma} = 0$$

где Γ – внешний контур оболочки, а n вектор внешней нормали к границе Γ .

Таким образом, для математического расчета обеспечения высоких прочностных качеств рабочей поверхности гладильной подушки необходимо решать нелинейную краевую задачу для уравнения в частных производных четвертого порядка

Проведенные исследования позволили разработать новый эффективный способ процесс изготовления рабочих поверхностей гладильных подушек.

Отличительной особенностью способа является то, что каждая рабочая поверхность: отливается из алюминиевого сплава вогнутой; фрезеруется опорная плоскость; сверлятся паропроводные и крепежные отверстия; нарезается резьба в крепежных отверстиях; рабочая поверхность выпрямляется посредством циклического тепломеханического воздействия; фрезеруются гладильная и опорная плоскости.

При этом каждый цикл тепломеханического выпрямления включает: нагрев до 473,15 К паром поступающим со стороны внутренней к внешней части гладильной плиты через перфорацию, соединяющую их, в течение времени обеспечивающего выравнивание температуры по толщине; механическое нагружение с выдержкой под нагрузкой и разгрузке; охлаждение вакуумным прососом воздуха из окружающей среды; циклы повторяются до полного выпрямления рабочей поверхности и остановки процесса деформации.

На рисунке 1 показаны основные приемы (а, б, в) одного цикла тепломеханического выпрямления рабочей поверхности.



Рисунок 1 - Основные приемы одного цикла тепломеханического выпрямления рабочей поверхности

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ландау, Л. Д. Теория упругости [Текст] / Л.Д. Ландау, Е.М. Лившиц. – М.: Наука, 1987. – 503 с.
2. Марчук, Г. И. Методы вычислительной математики [Текст] / Г.И. Марчук. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука, 1989. - 608 с.

Черепенько Аркадий Анатольевич
Госуниверситет - УНПК, Орел
Доктор технических наук, профессор
кафедры «Технология и конструкторско-технологическая информатика»
Тел.: 486(2) 541503
E-mail: arkan@nxt.ru

Черепенько Анатолий Павлович
Орловский государственный университет, г. Орел
Доктор технических наук, профессор
кафедры «Художественное проектирование швейных изделий»
Тел.: 486(2) 541503
E-mail: arkan@nxt.ru

A.A. CHEREPENKO, A.P. CHEREPENKO

THEORETICAL BASIS OF INTEGRATED TECHNOLOGIES ENSURE AS A WORKING SURFACE IRONING BOARDS PILLOWS

The paper presents an analytical description in the form of the mathematical model, the working surfaces of ironing pads on the alignment. The resulting model allows us to calculate the strain on the computer and the voltage, resulting in a working surface of the cushion in the process of giving high strength properties.

Keywords: ironing pads work surfaces

BIBLIOGRAPHY

- [1] Landau L., Livshits E. M. Elasticity theory [Text] / L. Landau, E.M. Livshits. – M: Science, 1987. – 503 p.
- [2] Marchuk G. I. Methods of calculus mathematics [Text] / G.I. Marhuk. - 3rd prod., reslave. and additional - M: Science, 1989. - 608 p.

Cherepenko Arcady Anatolyevich

State university - SSPC, Orel

Doctor of Engineering, professor

chairs «Technology and design and technological informatics»

Ph.: 486 (2) 541503

E-mail: arkan@nxt.ru

Cherepenko Anatoly Pavlovich

Orel state university. Orel

Doctor of Engineering, professor

chairs «Art design of garments»

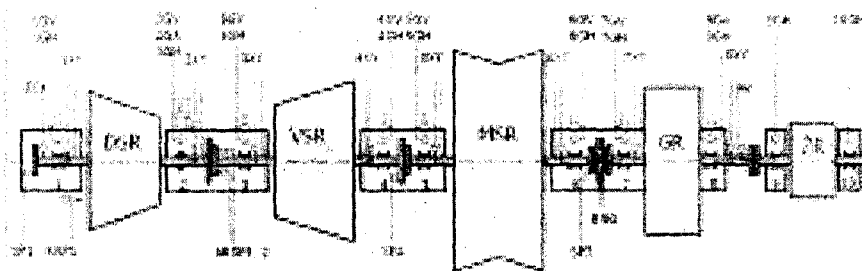
Ph.: 486 (2)) 541503

E-mail: arkan@nxt.ru

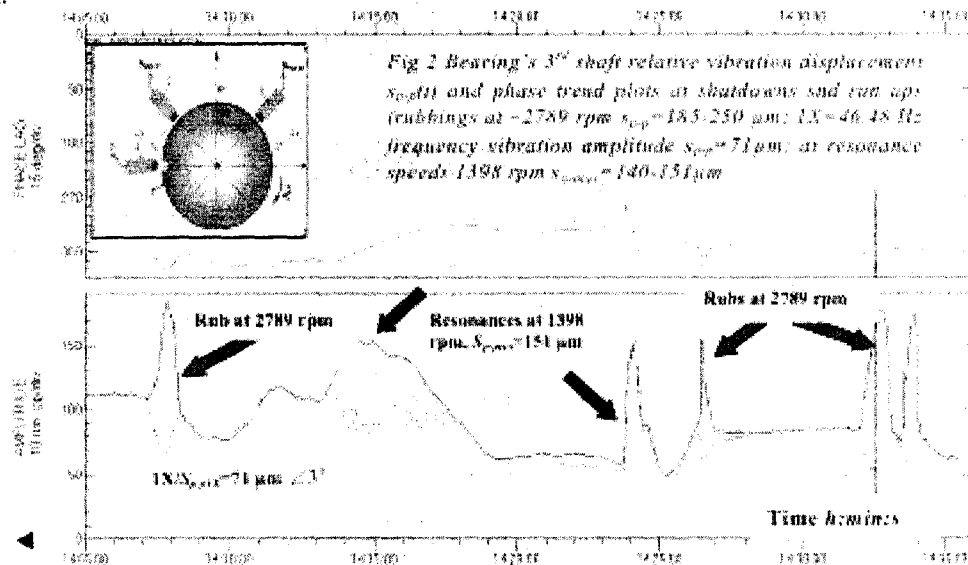
HIGH POWER ROTOR BEARING RUBS DIAGNOSTICS PROCEDURE

In the paper the problem is considered diagnostics of the old design high electric power generating machines running on duty more than 35-40 years and will successfully continue operation after proper renovations and periodic high quality overhauls. In this paper the vibration of the 110 MW turbounit with three steam turbines and electric generator rotating system running at nominal speed 3000 rpm is analyzed, Fig.1. It is shown that using optimized vibration monitoring, protection and diagnostics system (MDS) and selected vibration parameters data formats, is effective to evaluate overhaul quality and identified the causality of vibrations. The accent is stated on horizontal rotor-to-stator rubbing diagnostics in upper part of journal bearing.

The rotor relative vibration displacement measurement with contact less proximity probes stated new area in diagnostics [1]. If the rotors misalignment is valuable, despite that most common types of rubs are blade tip and seal rubs [2], the bearings rubs are dominated. But from the diagnostic practice point of view it is not only difficult to identified location of rubbing phenomenon in operating turbounit, but it is main tasks to determine causalities of rubs and prevent it in initial stage. This is actual problem for old design turbounits with long term continuous operation without modern MDS and main solution is to replace seismic transducers by contact less proximity probes [3, 4, 5]. Theoretical modeling and experimental research frequently are run in laboratory equipment and tested with machines in situ [7, 8]. This paper has research data concerning evaluation of the overhauls quality and changes in machine dynamics between overhauls of high power turbines rotating system with rubbings in journal bearings.



away from the bearing, the spring stiffness of the rotor will decrease, producing a change (increase) in vibration response. Rub produces simultaneous, nonlinear changes in both the Force and the Dynamic Stiffness. Partial radial rub produces a self-excited, large amplitude, subsynchronous vibration at subharmonics ($1/2X$, $1/3X$, $1/4X$, etc.) frequencies. This self-excited vibration is always associated with a modified natural frequency of the rotor system. The main vibration data formats were designed to identify the rubbing event. The trend plot of vibration displacement magnitude and phase presented in Fig. 2 and acquired at repeated shut downs and run ups modes of rotating system.



The severe vibrations occurred at rotation speeds $\sim 2750-2900$ rpm and rotor system first natural frequency measured as $1390-1341$ rpm. The experimental testing stated that sudden increased in direct vibration displacement amplitude occurred at ~ 2789 rpm as shown in Fig. 2. The rotor system has a natural frequency at a subharmonic (~ 1398 rpm) of the rotor operating speed (at ~ 2789 rpm), then, after one cycle of this subsynchronous free vibration $1/2X$, the rub impulse will recur. Rotation speed 2789 rpm (synchronous $1X = 46.48$ Hz frequency) vibration played a role by increasing the lateral velocity of the rotor at the moment of contact. The experimental testing verified that the rub induced instability in the bearing occurred at run up and at shut down and continued during ~ 150 rpm rotational speed interval. The rubs result in high vibration displacements, e. g. $S_{(p-p)}\text{max} = 176, \dots, 190$ μm and $S_{(p-p)}\text{max} \approx 260$ μm at 2758 rpm.

CONCLUSION

The partial radial rub in 3rd bearing damaged upper part Babbitt of the bearing. The rubbing had been caused by the large initial vertical misalignment of two rotors (DSR and VSR) when connected with coupling. For old design used machines after renovation and installation of MDS with proximity probes the rubbing diagnostics is effective with main data formats: vibration displacement direct and synchronous $1X$ trend, average shaft centreline, shaft displacement kinetic orbit and full vibration displacement spectrum plots.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Bently, D.E. Fundamentals of Rotating Machinery Diagnostics [Text] / D.E. Bently, T.H. Charles. - Canada, 2002. - P.726.
- [2] Muszynska, A. Rotordynamics [Text] / A. Muszynska. - CRC Press Taylor and Francis Group, 2005. - P. 1075.

- [3] Bently, D.E., Rotating Machinery Measurements 101 [Text] / D.E. Bently // Bently Nevada, Minden, USA. - Orbit, Vol. 15. - 1994. - №2. - Pp.4-6.
- [4] Mažeika, P. Diagnostics and Failures prevention Researches of Rotors with Rolling Element Bearings [Text] : summary of Doctoral Dissertation / P. Mažeika. - Kaunas University of Technology Press. - Technologija, Lithuania. – 2008. - P.36.
- [5] Гольдин, А. С. Вибрация роторных машин [Текст] / А.С. Гольдин. - М.: Машиностроение, 2000. - с.344.
- [6] Barzdaitis, V. Absolute and Relative Vibration Inconsistencies in Dynamic Analysis of High Power Turbogenerator Rotating System [Text] / V. Barzdaitis, R. Jonušas, R. Didžiokas, V.V. Barzdaitis // Proc. 3rd International Congress of Technical Diagnostics. - Poznan, Poland. - September 2004. - Vol.30, tom1. - Pp. 45-52.
- [7] Bachschmid, N. On Model Updating of Turbo-Generator Sets, JVE journal of Vibroengineering [Text] / N. Bachschmid, P. Pennacchi, S. Chatterton, R. Ricci // Vibromechanika. – 2009. - Vol. 11. - Issue 3. - Pp. 379-391.
- [8] Aladjev, V. Maple [Text] / V. Aladjev, M. Bogdevičius // Programing, Physical and Engineering Problems. – 2006. - P.404.

Vytautas Barzdaitis
Habil Dr., Technical Sciences, Prof.
Kaunas University of Technology,
Lithuania, Phone: +370 37 323863
E-mail: vytautas.barzdaitis@ktu.lt

Rimantas Didžiokas
Dr., Technical Sciences, Prof.
Klaipida University, Lithuania,
Phone: +370 46 398692
E-mail: rimantas.didziokas@ku.lt

Vytautas Vytauto Barzdaitis
Ms. Sc. Informatics, Vytautas Magnus
University, Kaunas, Lithuania,
Phone: +370 610 34224
E-mail: v.barzdaitis@gmail.com

УДК 621.65.021

В.И. АВЕРЧЕНКОВ, Е.А. ПОЛЬСКИЙ, А.С. АРТЮХОВ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ НА ОСНОВЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АНАЛИЗА РАЗМЕРНЫХ СВЯЗЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ НА СТАНКАХ С ЧПУ

В статье рассмотрены вопросы технологического обеспечения точности и качества сборочных единиц на этапе анализа размерных связей с учетом изменения функциональных размеров в процессе эксплуатации изделия.

Ключевые слова: размерные связи, надежность, эксплуатационные свойства, качество поверхности

Выпуск качественной конкурентоспособной продукции с наименьшими затратами было и остается основной задачей технической подготовки производства. Качество продукции во многом определяется на этапах проектирования, изготовления и сборки. На этапе проектирования конструктор осуществляет подбор материалов контактирующих деталей, проводит отработку на технологичность, на основе расчетов на прочность и жесткость назначает номинальные функциональные размеры, назначает параметры качества функциональных поверхностей с учетом обеспечения требуемых эксплуатационных свойств, обеспечивающих работоспособность узлов и машины в целом.

На этапах изготовления деталей сборочных единиц решается задача разработки технологических процессов механической обработки с выбором оборудования, инструмента, технологической оснастки и назначением режимов обработки, обеспечивающих достижение требуемых параметров точности и качества функциональных поверхностей для заданной надежности.

При сборке необходимо обеспечить заданную точность замыкающего звена одним из методов, формирование посадок сопряжения, обеспечение герметичности и др.

Все три этапа, входящие в общую структуру разработки и постановки продукции на производство, согласованы между собой размерными связями. Поэтому задача комплексного решения размерных цепей с целью реализации конструкторско-технологического обеспечения работоспособности изделия является важным технико-экономическим аспектом повы-

В настоящее время последовательность проведения размерного анализа осуществляется в два этапа [1, 2]. На первом этапе конструктор определяет основные габаритные и номинальные размеры элементарных соединений с учетом обеспечения требований по прочности, жесткости и надежности; при разработке рабочего проекта устанавливает значение требуемой точности и величину посадок на функциональные размеры определяющие работоспособность узла и обеспечивающие требуемую точность замыкающего звена на основе расчета сборочных размерных цепей; формируя чертежи деталей сборки, задает вспомогательные размеры для определения размерных характеристик всех конструктивных элементов детали.

На втором этапе для выбранной последовательности переходов в операциях и установленной последовательности смены технологических баз технолог проводит размерно-точностной анализ с целью определения межоперационных размеров, а, следовательно, подтверждения достижения точности конструкторских размеров.

Проблематикой обеспечения точности сборочных соединений занимались разные научные школы, как за рубежом, так и в нашей стране. Особое внимание, при этом, уделялось исследованиям взаимосвязи факторов влияющих на конечные показатели соединения. Основой всех исследований являлось разделение всего многообразия встречающихся соединений по схожим классам, с исследованием всех факторов влияющих на конечное качество сопряжения.

Исследования обеспечения качества сборочных узлов разделяются на два больших направления: автоматизация расчетов, связанных с отклонениями в сборке от допусков деталей, входящих в соединение; исследование факторов влияющих на качество сборки во взаимосвязи – заготовка-обработка-сборка. При этом основной упор делался на нахождение закономерностей и функциональных зависимостей, а потом на формализацию расчетов.

Качество машин и его главный показатель – надежность – определяются надежностью соединения деталей [3]. Технологический аспект рассмотрения надежности соединений становится одним из важнейших и исследуется наряду с конструктивными аспектами [1].

Качество машин определяется непосредственно качеством соединений. В свою очередь, показатели качества имеют широкие границы рассеивания. Оно может существенно изменяться даже от колебаний фактических размеров в пределах допусков. Так, например, в пределах посадки H7/s7 натяг, а следовательно, и прочность посадок, как один из показателей качества в диапазоне диаметров 80...100 мм меняется в 3.5 раза, а для посадки H7/p7 в 7 раз.

Если учесть также, что в ходе сборки возникают различные отклонения (положения, формы, соосности и др.), которые могут сохраняться и усугубляться при эксплуатации машины, то очевидно, что рассеяние показателей качества возрастает еще больше. Эти факты свидетельствуют о том, что колебания показателей качества, как соединений, так и машин одного и того же конструктивного исполнения определяются технологическими причинами при сборке.

Деформации при сборке могут играть как положительную, так и отрицательную роль. Деформация при сборке высокоточных соединений, как правило, снижает показатели качества машин. Эпюры давлений реальных соединений вследствие деформаций существенно отличаются от номинальных, которые конструкторы используют в типовых расчетах. При малых нагрузках отклонения формы особенно сильно влияют на деформации контактирующих поверхностей, поскольку их сопряжение происходит в сугубо локальных зонах [107, 108].

Для решения размерных цепей используются различные методики. На основе анализа исследований зарубежных и отечественных ученых был выбран метод прямой линеаризации (Direct Linearization Method). Этот метод позволил описать сборку как цепь векторов.

Подходом для учета влияния на точность замыкающего звена эксплуатационных звеньев является введение в размерную цепь новых составляющих размеров, которые будут описывать изменение размерных связей в процессе эксплуатации.

Уравнение такой размерной цепи имеет вид:

$$\bar{T}_{\Delta} = \sum_i^n \bar{T}_i + \sum_j^m \bar{T}_{\varepsilon_k},$$

где T_{ε_k} – допуски на эксплуатационные размеры, существенно воздействующие на точность замыкающего звена.

В общем виде допуск линейного замыкающего звена складывается из допусков составляющих звеньев в каждой из проекций с учетом угловых размеров

$$T_{\Delta} \geq \sqrt{\sum_{i=1}^3 \left(\frac{t}{\beta} \sqrt{\sum_j^n (A_{ij} \lambda_{ij} T_j)^{\mu} + \sum_k^m (E_{ik} \lambda_{ik} T_{\varepsilon_k})^{\mu}} \right)^2}$$

Здесь t – коэффициент риска, характеризующий вероятность выхода отклонений звена за пределы допуска; λ – коэффициенты относительного среднеквадратичного отклонения; β – коэффициент расширения допуска; μ – коэффициент степени, учитывающий метод расчета размерных цепей.

При обеспечении точности замыкающего звена в пространственной размерной цепи методом максимума минимума ($\mu = 1$) выражение принимает вид:

$$T_{\Delta} = \frac{1}{\beta} \sqrt{\sum_i^3 \left(\sum_j^{n-1} (B_{ij} T_j) + B_{y_{\text{вн}}} T_{y_{\text{вн}}} \right)^2} = \frac{1}{\beta} \sqrt{\sum_i^3 (d_i^2 + 2d_i B_{y_{\text{вн}}} T_{y_{\text{вн}}} + B_{y_{\text{вн}}}^2 T_{y_{\text{вн}}}^2)},$$

$$T_{\Delta}^2 \beta^2 = \sum_i^3 d_i^2 + 2T_{y_{\text{вн}}} \sum_i^3 B_{y_{\text{вн}}} d_i + T_{y_{\text{вн}}}^2 \sum_i^3 B_{y_{\text{вн}}}^2,$$

где $d_i = \sum_j^{n-1} B_{ij} T_j$.

Непосредственно назначение допусков составляющих размеров (решение прямой задачи или синтез) можно осуществлять различными методами. К наиболее известным методам относят методы попыток, равного качества, равного допуска, пропорционального влияния и метод экономически обоснованных допусков. Каждый из них имеет различную трудоемкость и различную эффективность. Однако наилучшие результаты получают при использовании метода экономически обоснованных допусков. Его суть заключается в обеспечении минимальной себестоимости изготовления всего комплекта составляющих размеров для заданной точности исходного (замыкающего) звена:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\sum_{i=1}^3 \left(\frac{t}{\beta} \sqrt{\sum_j^n (A_{ij} \lambda_{ij} T_j)^{\mu} + \sum_k^m (E_{ik} \lambda_{ik} T_{\varepsilon_k})^{\mu}} \right)^2} \leq T_{\Delta}, \\ \sum_{i=1}^{n+m} S_i \rightarrow \min \end{array} \right.$$

где S_i – функция себестоимости выполнения i -го составляющего размера, n – количество конструктивных составляющих размеров, m – количество эксплуатационных составляющих размеров.

Другим возможным методом решения прямой задачи является назначение допусков составляющих размеров с учетом вероятности безотказной работы $P(t)$:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\sum_{i=1}^3 \left(\frac{t}{\beta} \sqrt{\sum_j^n (A_{ij} \lambda_{ij} T_j)^{\mu} + \sum_k^m (E_{ik} \lambda_{ik} T_{\varepsilon_k})^{\mu}} \right)^2} \leq T_{\Delta}, \\ 1 - P(t) \leq [Q], \end{array} \right.$$

где $[Q]$ – величина допустимого брака.

$$P(t) = 0,5 + \Phi \left(\frac{T_{\Delta} - T_0 - \gamma_{cp} t}{\sqrt{\sigma_{T_0}^2 + \sigma_{\gamma}^2(t)^2}} \right),$$

где t - срок службы машины, в течение которого необходимо обеспечить вероятность безотказной работы $P(t)$; $\Phi(x)$ - стандартное нормальное распределение функции; T_0 - допуск замыкающего звена после изготовления и сборки машины, равный допуску составляющих размеров на этот момент времени; γ - скорость изменения размера замыкающего звена во времени, σ - среднеквадратические отклонения соответствующих параметров.

Из проанализированных схем формирования точности замыкающего звена видно, что уравнение размерной цепи можно представить в форме:

$$T_{\Delta} = \sum_i^n c_i T_i + \sum_j^m c_j k_{внут_j} k_{внеш_j} k_{ТЭК_j},$$

где c - коэффициент передаточного отношения, $k_{внеш_j}$ - коэффициент, характеризующий зависимость допуска j -го эксплуатационного размера от внешних факторов, $k_{внут_j}$ - коэффициент, характеризующие зависимость допуска j -го эксплуатационного размера от внутренних факторов, $k_{ТЭК}$ - коэффициент учитывающий погрешности расчетной модели определения эксплуатационных свойств.

Предложена классификация элементарных прототипов, учитывающая возможные движения, допускаемые конкретным сопряжением (рисунок 1).

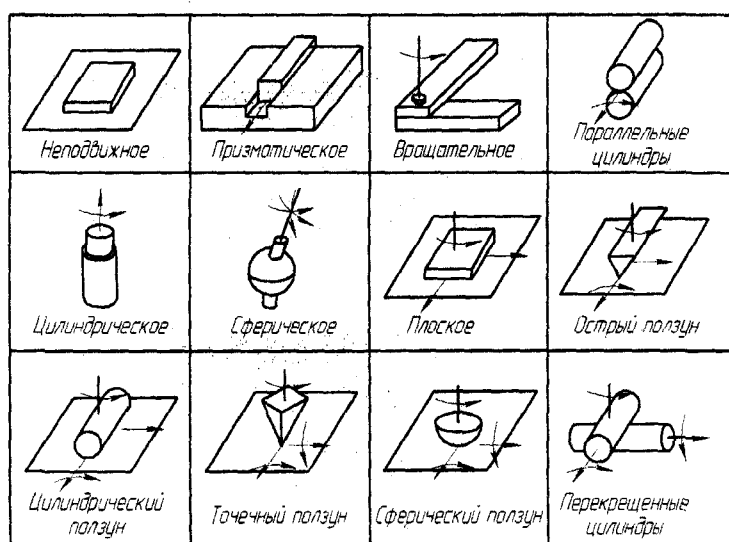


Рисунок 1 - Виды элементарных прототипов

Определение значений коэффициентов $k_{внеш_j}$ и $k_{внут_j}$ внешних и внутренних факторов эксплуатационных звеньев для заданного прототипа с учетом требований по долговечности позволит обосновать выбор материалов, смазки, параметров качества поверхности.

При проведении размерного анализа с учетом эксплуатационных процессов изнашивание удобнее всего оценивать линейным износом - необратимым изменением формы и размеров контактирующих тел, в направлении перпендикулярным к поверхности трения. В зависимости от параметров нагружения, а, в общем случае, и от неоднородности свойств изнашиваемых поверхностей, линейный износ будет неравномерным.

Основные положения и методика расчета поверхностей на трение и износ при скольжении изложены в работах Суслова А.Г.:

Приработка:

$$I_h = \frac{1.2 \cdot Ra^{2/3}}{n \cdot \lambda \cdot Sm \cdot tm^{3/2}} \cdot \left(\frac{p}{H\mu_0} \right)^{7/6} \cdot \sqrt{15 \cdot \pi \cdot (2 \cdot \pi \cdot Wz \cdot H \max)^{1/3} \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot \pi \cdot H\mu_0 \cdot (1 - \mu^2)}{E} \right]}$$

Нормальное изнашивание:

$$I_h = \frac{1.2 \cdot \pi \cdot p^{7/6}}{n \cdot \lambda \cdot tm^{3/2} \cdot H\mu_0^{3/2}} \sqrt{\frac{30 \cdot (1 - \mu^2) \cdot (2 \cdot \pi \cdot Ra \cdot Wz \cdot H \max)^{1/3}}{E \cdot Sm}}$$

где: Ra – среднее арифметическое отклонение профиля, мкм; Wz – средняя высота волнистости по десяти точкам, мкм; $H \max$ – максимальная величина макроотклонений формы поверхности, мкм; tm – относительная опорная длина профиля на уровне средней линии; Sm – средний шаг неровностей, мкм; λ – коэффициент, учитывающий знак и значение остаточных напряжений; σ_T – величина остаточных напряжений, МПа; k – коэффициент упрочнения; p – давление, МПа; n – число циклов воздействия до разрушения поверхностного слоя; E, μ – механические свойства материала заготовки.

Преобразовав зависимость с учетом требований по возможности метрологического контроля, технологического управления и приоритетности параметров качества влияющих на износостойкость, получаем:

$$I_h \cdot C_M = C_R$$

где: C_R – комплексный параметр, характеризующий зависимость интенсивности изнашивания поверхности от параметров качества поверхностного слоя; C_M – комплексный параметр, зависящий от механических свойств материала контактирующей детали:

$$C_R = \frac{(Wz \cdot H \max)^{1/6}}{Sm^{0.5} \cdot \lambda \cdot (k \cdot \sigma_T)^{2/3}} \cdot Ra^{2/3} \cdot (Rp - Ra)^{0.5}$$

$$C_M = \frac{n}{43.47 \cdot (p \cdot \pi)^{7/6}} \cdot \sqrt{\frac{E}{1 - \mu^2}}$$

Теоретическое уравнение изменения коррозионной стойкости деталей при механической обработке имеет вид:

$$v_k = v_{k0} \cdot (1.1 \cdot U_H^4 + 4 \cdot U_H^3 - 4.1 \cdot U_H^2) \cdot \left(\frac{28 \cdot 10^6 \cdot Rv}{tm^2 \cdot Sm^2} \right)$$

Для формализации определения допуска отклонения от правильной геометрической формы поверхностей использовалось математическое описание элементарных поверхностей как плоских, так и объемных.

При статическом описании выходного параметра объекта необходимо учитывать: а) его зависимость от условий нагруженности и эксплуатации (скорости движения, потребляемой мощности, температуры и т.д.), которые в эксплуатации не постоянны и могут рассматриваться как случайные процессы, эта зависимость может быть как функциональной, так и статической; б) различия исходного качества изготовления отдельных поверхностей объекта, вызванные различиями размеров, твердости и т.д.; в) зависимость параметров от медленно протекающих процессов (приработка, изнашивание, коррозия) [5]. В ряде случаев выходной параметр удастся представить в виде трех независимых составляющих:

$$z_j(t) = \xi_0 f_1[g_1(t), g_2(t), \dots, g_i(t)] + h(t) + \zeta(t)$$

где: ξ_0 – случайная величина, оценивающая начальное качество; f_1 – неслучайная функция возмущений; $h(t)$ и $\zeta(t)$ – случайные функции, оценивающие соответственно влияние медленно протекающих процессов и внезапных случайных флуктуаций параметра.

Пусть z – выходной параметр, полностью определяющий работоспособность объекта. Тогда вероятность безотказной работы в течение наработки T можно трактовать, как вероятность того, что за время T параметр z не выходит за допустимые пределы R_1 и R_2 , т.е.:

$$P(t) = P\{R_1 < z < R_2 \leq T\}$$

Ограничения накладываемые на параметр состояния, могут быть одно- или двусторонними. Граница называется статической, если она остается неизменной в любой момент времени работы объекта, т.е. $R = const$, например, предельный износ плунжерной пары насоса. Граница называется динамической, если она является неслучайной функцией условий эксплуатации или зависит от времени, т.е. $R = f(g_1, g_2, \dots, t)$. Граница R может представлять собой случайную величину или случайную функцию, т.е. быть стохастической, например, площадь контакта нежесткого вала с опорным подшипником скольжения, от которой зависит возникновение отказа при превышении максимально допустимого зазора.

Вероятность безотказной работы:

$$P(T) = 1 - \int_0^T q(t) dt = 1 + \int_0^T \int_{R_1}^{R_2} \frac{\sigma \phi(z/t)}{\sigma} dz dt$$

Поведение такого объекта характеризуется постепенными отказами. Если граница $R(t)$ - случайный процесс с плотностью вероятности $\phi(R/t)$, обычно вводят новую переменную $\xi = R - z$. При независимости границы R и выходного параметра, плотность вероятности новой переменной:

$$\psi(\xi/t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \phi(z/t) \cdot \phi(\xi + z/t) dz$$

Вероятность безотказной работы:

$$P(T) = P\{\xi > 0 / t \leq T\} = 1 + \int_0^T \int_0^\infty \frac{\sigma \psi(\xi/t)}{\sigma} d\xi dt$$

Работа объекта, выходной параметр которого имеет закон распределения, не зависящий от времени, характеризуется внезапными отказами. В этом случае в соответствии с экспоненциальным законом надежности вероятность безотказной работы $P(t) = \exp(-\lambda t)$, где λ - интенсивность отказов.

Обычно в этом случае параметры состояния считают случайными величинами и безотказность может оцениваться по независящей от времени вероятности нахождения выходного параметра в допустимых границах P_n .

В ряде случаев, когда отказ в форме выхода параметра состояния за определенную границу (выброс) не приводит к значительным отрицательным последствиям, регламентироваться может параметр потока отказов μ . При известной плотности совместного распределения параметра состояния $z(t)$ и скорости его изменения во времени $v(t)$ усредненный параметр потока отказов, определяющий число выбросов за границы в единицу времени:

$$\bar{\mu} = \frac{1}{T} \int_0^T \left[\int_0^\infty \phi(R_2, v/t) v dv + \int_{-\infty}^0 \phi(R_1, v/t) v dv \right] dt$$

Средняя продолжительность выброса:

$$\bar{\tau} = \frac{T - \int_0^T \int_{R_1}^{R_2} \phi(z/t) dz dt}{\int_0^T \left[\int_0^\infty \phi(R_2, v/t) v dv + \int_{-\infty}^0 \phi(R_1, v/t) v dv \right] dt}$$

Безотказность, как вероятность отсутствия за время наработки первого выбора:

$$P(T) = \exp \left\{ - \int_0^\infty \phi(R_2, v/t) v dv + \int_{-\infty}^0 \phi(R_1, v/t) v dv \right\}$$

В общем случае работоспособность объекта, качество его функционирования определяется не одним, а совокупностью s выходных параметров состояния $z_1, z_2, \dots, z_s$, которые

можно считать компонентами некоторого вектора Z . Тогда пространство состояний некоторой граничной поверхностью ω можно разделить на две области: область Ω работоспособных состояний и область отказов. Безотказность в этом случае определяется как вероятность того, что за время функционирования системы T параметры состояния z_i не выходят за соответствующие границы R_{i1} и R_{i2} :

$$P(T) = P\{Z \in \Omega / t \leq T\} = P\{R_{11} < z_1 < R_{12}, R_{21} < z_2 < R_{22}, \dots, R_{s1} < z_s < R_{s2} / t \leq T\}$$

Наиболее общий случай, когда исходное качество всех объектов неоднородно, условия эксплуатации переменны, средняя скорость процесса зависит от времени функционирования. Неоднородность качества может быть вызвана рассеянием начальных размеров, а так же различием физических свойств у контактирующих поверхностей, приводящих к варьированию средней скорости процесса каждой реализации [4].

Тогда модель скорости процесса принимает вид:

$$k(t) = m_k(t) + k^0(t) = m_k(t) + a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos \omega_n t + b_n \sin \omega_n t)$$

где: a_0 - центрированная случайная величина, учитывающая исходное качество объекта.

Выходной параметр, определенный с учетом начального рассеяния:

$$z(t) = z_0 + \int_0^t k(\tau) d\tau = m_{z0} + \bar{z}_0 + \int_0^t m_k(\tau) d\tau + a_0 t + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\omega_n} (a_n \sin \omega_n t - b_n \cos \omega_n t + b_n)$$

где: $\bar{z}_0$ - учитывающая рассеяние начального размера центрированная случайная величина.

Следовательно, математическое ожидание и дисперсия выходного параметра следующие:

$$m_z(t) = m_{z0} + \int_0^t m_k(\tau) d\tau$$

$$D_z(t) = D_{z0} + t^2 D_{a0} + 2 \int_0^t \frac{S_k(\omega) d\omega}{\omega^2}$$

Если выходной параметр распределен по нормальному закону, параметры которого не остаются постоянными во времени, то:

$$\phi\left(\frac{z}{t}\right) = \frac{1}{\sigma_z(t) \cdot \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{[z - m_z(t)]^2}{2 \cdot \sigma_z^2(t)}\right\}$$

Плотность вероятности отказа и вероятность безотказной работы соответственно равны:

$$q(t) = -\frac{d}{dt} \cdot \left\{ \Phi \left[\frac{R - m_z}{\sigma_z(t)} \right] \right\}$$

$$R(T) = 1 + \Phi \left[\frac{R - m_z(T)}{\sigma_z(T)} \right] - \Phi \left[\frac{R - m_{z0}}{\sigma_z(0)} \right]$$

Если связь выходного параметра z с износом характеризуется нелинейной функцией, аналитическая оценка безотказности становится практически невозможной и для решения нелинейных задач применяют методы статистического моделирования.

В ряде случаев изнашивание приводит к повышению вероятности выхода параметра состояния за определенный предел, т.е. к повышению вероятности внезапного параметрического отказа. Если известен закон распределения выходного параметра при фиксированном

значении износа $u_1 - \chi\left(\frac{z}{u_1}\right)$ и закон распределения износа при фиксированном времени экс-

плутации $t_1 - \theta\left(\frac{u}{t_1}\right)$, то плотность вероятности выходного параметра в некоторый момент времени:

$$\phi\left(\frac{z}{t}\right) = \int_0^{\infty} \chi\left(\frac{z}{u}\right) \theta\left(\frac{u}{t}\right) du$$

Соответственно, интенсивность отказов и вероятность безотказной работы при верхней границе:

$$\lambda(t) = n \int_0^R \int_0^{\infty} \chi\left(\frac{z}{u}\right) \theta\left(\frac{u}{t}\right) dz du$$

$$P(T) = \exp\left[-\int_0^T \lambda(t) dt\right]$$

где: n – среднее число фиксированных точек в единицу времени.

Таким образом, решение задачи оптимального распределения величины допуска на эксплуатационные звенья сборочной размерной цепи узла и назначение обоснованных требований по качеству поверхности для обеспечения требуемой надежности возможно при условии определения весовых коэффициентов, устанавливающих значимость влияния того или другого эксплуатационного свойства в элементарном прототипе. Назначение весовых коэффициентов при условии максимальной вероятности безотказной работы контактирующей пары является необходимым условием для разработки автоматизированной подсистемы технологического обеспечения надежности машины на этапах анализа размерных связей при конструкторско-технологической подготовке производства.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суслов, А.Г. Научные основы технологии машиностроения [Текст] / А.Г. Суслов, А.М. Дальский. - М.: Машиностроение, 2002. - 684 с.
2. Сулима, А.М., Щупов В.А., Ягодкин Ю.Д. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин [Текст] / А.М. Сулима, В.А. Щупов, Ю.Д. Ягодкин. - М.: Машиностроение, 1988. - 240 с.
3. Комбалов, В.С. Оценка триботехнических свойств контактирующих поверхностей [Текст] / В.С. Комбалов. - М.: Машиностроение, 1983.
4. Антифрикционные и фрикционные узлы машин и материалы для них; сцепные устройства, методы и средства триботехнических испытаний [Текст]: справочник по триботехнике. Т 3. / под ред. М. Хебды и А.В. Чичинадзе. - М: Машиностроение, 1991. - 560 с.
5. Трение, изнашивание и смазка [Текст]: справочник. / И.В. Крагельский, В.Л. Алисин. - Кн. 2.- М.: Машиностроение, 1979.

Аверченков Владимир Иванович
ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет», г. Брянск
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Компьютерные технологии и системы»

Польский Евгений Александрович
ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет», г. Брянск
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технология машиностроения»
E-mail: polski.eugene@gmail.com

Артюхов Андрей Сергеевич
ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет», г. Брянск
Аспирант кафедры «Технология машиностроения»

V.I. AVERCHENKOV, E.A. POLSKI, A.S. ARTUHOV

TECHNOLOGICAL MAINTENANCE OF RELIABILITY OF ASSEMBLY UNITS ON THE BASIS OF PERFECTION OF THE ANALYSIS OF DIMENSIONAL COMMUNICATIONS AT PROCESSING ON MACHINE TOOLS WITH NC

In article questions of technological support of accuracy and quality of assembly units at an analysis stage of dimensional communications with the accounting of change of the functional sizes in use products are considered.

Keywords: dimensional communications, reliability, operational properties, quality of a surface

BIBLIOGRAPHY

- [1] Suslov, A.G. Scientific bases of technology of mechanical engineering [Text] / A.G. Suslov, A.M. Dalsky. - M: mechanical engineering, 2002. - 684 p.
- [2] Sulima, A.M. Blanket and operational properties of details of cars [Text] / A.M. Sulima, V.A. Shupov, U.D. Jagodkin. - M: Mechanical engineering, 1988. - 240 p.
- [3] Kombalov, V.S. An estimation tribotechnika properties of contacting surfaces [Text] / V.S. Kombalov. - M: mechanical engineering, 1983.
- [4] Antifrictional both frictional knots of cars and materials for them; drawbars, methods and means tribotechnika tests [Text] : a directory on tribotechnika. T 3.: under the editorship of M.Hebdy, A.V.Chichinadze. - M: Mechanical engineering, 1991. - 560 p.
- [5] A friction, wear process and greasing [Text] : a directory / I.V.Kragelsky, V.L.Alsin. - M: Mechanical engineering, 1979. - Book 2.

Averchenkov Vladimir Ivanovich
Bryansk state technical university,
Bryansk
Dr.Sci.Tech., the professor managing
chair «Computer technologies and
systems»

Polski Evgenie Aleksandrovich
Bryansk state technical university,
Bryansk
Cand.Tech.Sci., the senior lecturer,
the senior lecturer of chair «Technol-
ogy of mechanical engineering»
E-mail: polski.eugene@gmail.com

Artuhov Andrey Sergeevich
Bryansk state technical university,
Bryansk
The post-graduate student of chair
«Technology of mechanical engineer-
ing»

УДК 623.921

А.А. КОПЕЦКИЙ, В.А. НОСЕНКО, В.Н. ТЫШКЕВИЧ, С.В. ОРЛОВ

ВЛИЯНИЕ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ НА ПОГРЕШНОСТЬ ФОРМЫ ПРИ ЗАКРЕПЛЕНИИ И ОБРАБОТКЕ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ

В статье приведены расчётные формулы для вычисления осевых и радиальных деформаций колец конических подшипников. Получены формулы для определения допускаемых усилий зажима при закреплении колец на магнитной плите по торцу и по наружному диаметру в патроне. Представлен способ устранения изогнутости торцовых поверхностей колец при шлифовании.

Ключевые слова: кольцо подшипника, упругие деформации, шлифование, точение, подшипник, кольцо, деформация

При обработке подшипниковых колец точением и шлифованием необходимо учитывать упругие деформации, возникающие от усилий зажима и резания. Погрешности формы кольцевых деталей от упругой деформации во многих случаях значительно превышают погрешности, вызванные биением шпинделей, неточностью установки и другими факторами. Опыт изготовления прецизионных подшипников и подшипников малой жесткости показыва-

ет, что современная технология шлифовальной обработки не может разрабатываться без учета жесткости деталей и возможной деформации в процессе обработки [1].

Деформация кольца в осевом направлении приводит к нарушению плоскостности торцов, в радиальном – к некруглости. Осевые деформации наиболее характерны для колец упорных подшипников, так как жесткость в осевом направлении значительно меньше жесткости колец в радиальном направлении; для колец радиальных подшипников, наоборот, характерны радиальные деформации.

При растачивании внутренней поверхности подшипниковых колец закрепление осуществляется по наружной поверхности в трёхкулачковых патронах или цанговых зажимных устройствах [2]. Под действием усилий зажима P_1 и составляющей силы резания P_2 происходит деформация кольца (рисунок 1, а). Внутренняя поверхность кольца обрабатывается в деформированном состоянии, и после снятия усилий зажима приобретает некруглость, величина которой определяется упругой деформацией кольца. Величины допустимых усилий зажима и резания определяются из ограничения радиальных перемещений w по допускам на некруглость внутренней поверхности подшипниковых колец. Показанное на рисунке 1, а направление сил и перемещений будет противоположным при обработке наружной поверхности кольца.

Подшипниковые кольца после термообработки приобретают неплоскостность и изогнутость торцовых поверхностей под действием остаточных температурных напряжений (рисунок 1, б). При термообработке в штампах изогнутость может быть систематической, кратной числу упоров, или неопределенной при закалке и отпуске с вращением кольца в свободном состоянии или с укладкой на один из торцов. После термообработки для обеспечения заданных геометрических параметров торцовые поверхности подвергают шлифованию. Наличие изогнутости торцовой поверхности существенно усложняет процесс шлифования, поскольку под действием магнитного поля стола станка кольца получают дополнительную деформацию. Отшлифованные кольца сохраняют заданную форму торцовой поверхности под действием магнитного поля, после прекращения действия которого, неплоскостность существенно возрастает.

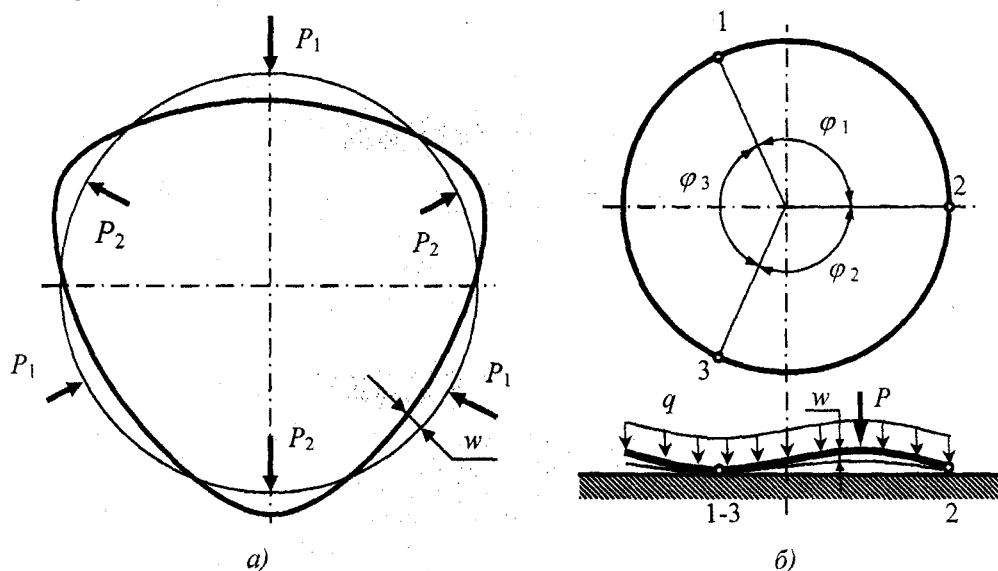


Рисунок 1 - Схемы деформаций колец. а – радиальных - при шлифовании внутренней поверхности в трёхкулачковом зажимном устройстве; б – осевых – при шлифовании торцов колец, имеющих неплоскостность после термообработки, с трехточечным контактом торцов кольца с поверхностью стола

Для устранения изогнутости торцовых поверхностей используют различные технологические приемы: снимают небольшие припуски, многократно переворачивая кольцо; уменьшают напряженность магнитного поля, снижают режимы и повторяют первую операцию; шлифуют без закрепления магнитным полем, обкладывая кольцо упорами и пр. [2]. Реализация перечисленных способов существенно увеличивает время обработки и стоимость операции.

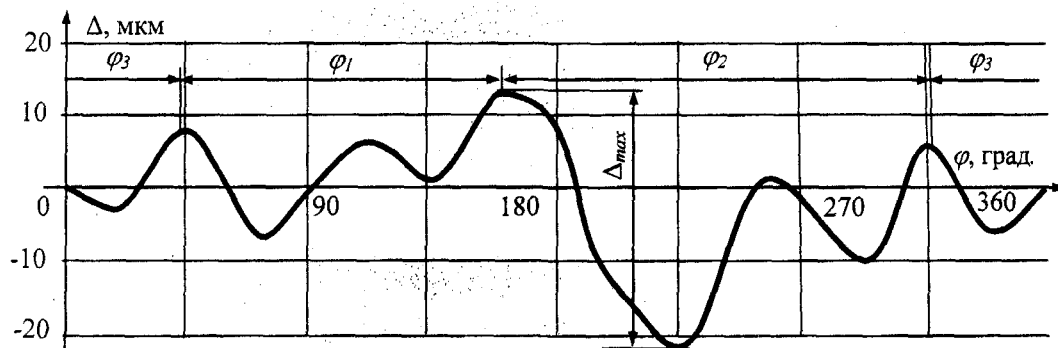


Рисунок 2 - Форма неплоскостности торцевой поверхности подшипникового кольца после закалки

Цель исследований заключалась в разработке математических моделей упругих деформаций колец конических подшипников в радиальном и осевом направлениях при обработке на операциях точения (расточивания) и шлифования.

Для достижения поставленных целей были решены следующие задачи: исследованы некруглость и неплоскостность торцовых поверхностей заготовок колец перед операцией шлифования; разработаны математические модели для определения радиальных и осевых деформаций кольца под действие усилий зажима и резания, магнитного поля стола станка.

Анализ формы торцевой и внутренней поверхностей колец после термообработки и механической обработки сделан на примере наружных колец конического однорядного роликоподшипника из стали ШХ15. Исследования проведены на трехкоординатной измерительной машине Millenium.

При исследовании неплоскостности колец после термообработки (рисунок 2) отмечено касание торца колец поверхности стола в трех точках. При этом среднее значение углов между точками касания с вероятностью 0,95 составляет $120^\circ \pm 16^\circ$. Исходя из этого, в расчетной схеме для определения осевых деформаций (рисунок 1, б) принято, что кольцо касается стола в трех точках, расположенных на равных расстояниях по периметру кольца. Кольцо нагружено сосредоточенной силой P (от действия шлифовального круга) и равномерно распределенной нагрузкой q (от действия магнитного поля), перпендикулярными плоскости кольца. Форма поперечного сечения произвольна, нагрузка приложена к центральной оси, проходящей через центры тяжести поперечных сечений.

Используя метод Мора, в полярной системе координат [3, 4] получена формула для максимального осевого перемещения (рисунок 1, б):

$$w = \frac{2r^3 I_{zc}}{EI_z I_y} [\eta_y (0,08395 P + 0,03198 qr) + \eta_k (0,01902 P + 0,00369 qr)] \quad (1)$$

где $\eta_y = I_{yc}/I_{zc}$; $\eta_{zy} = I_{ycz}/I_{zc}$; $\eta_k = EI_z I_z / (GI_{zc} I_k)$; I_k - момент инерции сечения при кручении; I_{yc} , I_{zc} , I_y , I_z , I_{ycz} - осевые и центробежные моменты инерции относительно главных центральных осей y , z и центральных осей поперечного сечения кольца yc , zc (рисунок 3, б); E , G - модули нормальной и касательной упругости материала кольца.

Численные расчеты получены для кольца конического роликового подшипника (рисунок 3) с размерами $D = 375$ мм, $C = 18$ мм; $D_1 = 357,47$ мм; $D_2 = 367,1$ мм; $\beta = 15^\circ$. Координаты центра тяжести поперечного сечения кольца yc , zc , диаметр центральной окружности D_0 и другие геометрические характеристики будут равны: $yc = 7,86$ мм; $zc = 5,44$

мм; $D_0 = D_1 + 2z_c = 368,35$ мм; $I_{zc} = 2755$ мм⁴; $I_{yc} = 495,2$ мм⁴; $I_{zyc} = 394,4$ мм⁴; $I_z = 2840$ мм⁴; $I_y = 410$ мм⁴; $\alpha = -19,2^\circ$; $I_K = 1762$ мм⁴; $\eta_y = 0,18$; $\eta_{zy} = 0,143$; $\eta_K = 0,63$ [5]. Максимальное осевое перемещение находим по формуле (1):

$$w = 0,00381 P + 0,20956 q. \quad (2)$$

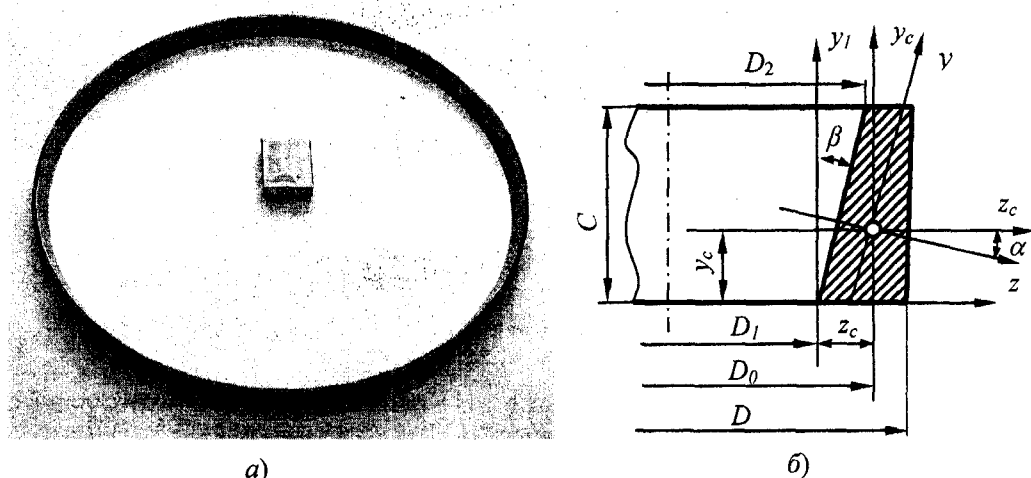


Рисунок 3 – Исследуемое кольцо (а) и поперечное сечение (б)

По допуску на неплоскостность $[w]$ торцевой поверхности стола из формулы (2) можно определить величину допускаемой вертикальной нагрузки $[P]$ без действия магнитного поля. Если принять $[w] = 15$ мкм, то величина допускаемого усилия $[P] = [w] / w = 0,015 / 0,00381 = 3,94$ Н.

В результате проведенных исследований разработан способ устранения изогнутости торцов колец шлифованием, при котором шлифование первого торца производится без действия магнитного поля стола с вертикальным усилием шлифования P , обеспечивающим максимальное осевое перемещение меньше допуска на неплоскостность торцов [2].

Влияние радиальных деформаций на режимы шлифования подшипниковых колец исследовалось для трёхкулачкового зажимного устройства. Форма поперечного сечения кольца произвольна, нагрузка моделируется сосредоточенными силами, приложенными к центральной оси, проходящей через центры тяжести поперечных сечений. Используя метод Мора, в полярной системе координат [3, 6, 7] получена формула для максимального радиального перемещения от усилий зажима кольца P_1 (рисунок 1, а):

$$w = \frac{0,01588 P_1 r^3 I_{zc}}{EI_z I_y}.$$

Для исследуемого наружного кольца конического однорядного роликоподшипника получим:

$$w = \frac{0,01588 P \times 184,18^3 \times 2755}{2,1 \times 10^5 \times 2840 \times 410} = 0,00112 P_1.$$

При вычислении силу подставляем в Н, а прогиб получим в мм.

Полученные выражения позволяют по допуску на некруглость определять величины допускаемых усилий зажима.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коротков, Б. И. Исследование процессов шлифования внутренних и наружных конусов деталей класса колец [Текст] : монография / Б.И. Коротков, С.Б. Коротков, В.Н. Тышкевич, С.В. Орлов ; под ред. Б. И.Короткова / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – 133 с.
 2. Пат. 2370354 Российская Федерация, МПК⁷ В 24 В 7/04. Способ устранения изогнутости торцов деталей класса колец шлифованием [Текст] / Орлов С. В., Тышкевич В. Н., Коротков Б. И., Носенко В. А. ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Волгоградский гос. тех. ун-т. – № 2008110458/02 ; заявл. 18.03.08 ; опубл. 20.10.09, Бюл. № 29. – 3 с. : ил
 3. Прочность, устойчивость, колебания [Текст] : справочник в 3-х томах. Т. 1/ Под ред. И. А. Биргера, Я. Г. Пановко – М.: Машиностроение, 1988. – 832 с.
 4. Определение осевых перемещений при шлифовании торцов подшипниковых колец [Текст] / В.А. Носенко, В.Н. Тышкевич, С.В. Орлов, В.Б. Светличная // Проблемы машиностроения и надежности машин. - 2010. - № 2. - С. 70-74.
 5. Носенко, В.А. Определение допускаемых значений вертикальной составляющей силы плоского шлифования подшипниковых колец малой осевой жёсткости [Текст] / В.А. Носенко, В.Н. Тышкевич, С.В. Орлов // Справочник. Инженерный журнал. - 2008. - № 4. - С. 24-32.
 6. Копецкий, А.А. Определение радиальных перемещений при закреплении подшипниковых колец в трёхкулачковом патроне [Текст] / А.А. Копецкий, В.А. Носенко, В.Н. Тышкевич // Изв. ВолгГТУ. Серия "Прогрессивные технологии в машиностроении". Вып. 6 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2011. - № 12. - С. 8-10.
 7. Копецкий, А.А. Определение радиальных перемещений подшипниковых колец при механической обработке в трёхкулачковом патроне [Электронный ресурс] / А.А. Копецкий, В.А. Носенко, В.Н. Тышкевич // Взаимодействие предприятий и вузов по повышению эффективности производства и инновационной деятельности : сб. докл. VII межрегион. науч.-практ. конф. (г. Волжский, 19-20 мая 2011 г.) / ВПИ (филиал) ВолгГТУ [и др.]. – Волгоград, 2011. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – С. 58-62.
- Копецкий Андрей Александрович**
исполнительный директор
ОАО «Европейская Подшипниковая Корпорация»
- Носенко Владимир Андреевич**
Доктор технических наук, профессор
Волжский политехнический институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «ВолгГТУ», г. Волжский
Телефон: (8443)386834
e-mail: nosenko@volpi.ru
- Тышкевич Владимир Николаевич**
Кандидат технических наук, доцент
Волжский политехнический институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «ВолгГТУ», г. Волжский
Телефон: (8443)397921
e-mail: tubem@mail.ru
- Орлов Сергей Васильевич**
Старший преподаватель
Волжский политехнический институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «ВолгГТУ», г. Волжский

A.A. KOPETSKY, V.A. NOSENKO, V.N. TYSHKEVICH, S.V. ORLOV

INFLUENCE OF ELASTIC DEFORMATIONS ON ERROR OF FORM AT FIXING AND TREATMENT OF RINGS OF BEARINGS

In the article calculation formulas are resulted for the calculation of axial and radial deformations of rings of the conical bearings. Formulas are got for determination of the assumed efforts of clamp at fixing of rings on a magnetic flag on a butt end and on an outward diameter in a cartridge. The method of removal of incurving of cutoff surfaces of rings is presented at grinding.

Keywords: bearing ring, elastic deformations, grinding, sharpening, bearing, ring, deformation

BIBLIOGRAPHY

- [1] Korotkov, B. I., Korotkov S. B., Tyshkevich V. N., Orlov S.V. Research of grinding processes of internal and external cones of the ring class details [Text]: monograph / Under the editorship of B. I. Korotkov / VSTU. – Volgograd, 2007. – 133 p.
- [2] Patent №2370354 The Russian Federation, International Patent Classifier 7 B 24 B 7/04. The way of curvature elimination of the end faces of the ring class details by grinding / Orlov S.V., Tyshkevich V. N., Korotkov B. I.,

Nosenko V. A.; applicant and patent owner Volgograd state technical university. – No. 2008110458/02; statement dated 18.03.08; published 20.10.09, Bulletin No. 29. – 3 p.: ill.

[3] Durability, stability, fluctuations [Text] : The data book issued in three volumes. T. 1/Under the editorship of. I.A.Birger, Y.G. Panovko – M: Mechanical engineering, 1988. – 832 p.

[4] Determination of axial displacements when grinding the end faces of bearing rings [Text] / V-A. Nosenko, V. N. Tyshkevich, S.V.Orlov, V.B. Svetlichnaya // Problems of mechanical engineering and machine reliability. - 2010. - No. 2. – Pp. 70-74.

[5] Nosenko, V.A. Determination of acceptable values of vertical force component of flat grinding of bearing rings of low axial rigidity [Text] / V-A. Nosenko, V. N. Tyshkevich, S.V.Orlov // Data book. Engineering magazine. - 2008. - No. 4. – Pp. 24-32.

[6] Kopetsky, A.A. Definition of radial displacements when fixing bearing rings on a three-jawed chuck [Text] / A.A. Kopetsky, V.A.Nosenko, V. N. Tyshkevich//Izvestiya of VSTU. A series "Progressive technologies in mechanical engineering". Issue. 6: interacademic collector of articles / VSTU. - Volgograd, 2011. - No. 12. – Pp. 8-10.

[7] Kopetsky, A.A. Determination of radial displacements of bearing rings when machining in a three-jawed chuck [An electronic resource] / A.A.Kopetsky, V.A.Nosenko, V. N. Tyshkevich//Interaction of the enterprises and higher education institutions aimed to increase production efficiency and innovative activity: report collector VII inter-regional scientific conference (Volzhsky, May 19-20, 2011) / VPI (branch) of VSTU [etc.]. – Volgograd, 2011. – 1 electronic optical disk (CD ROM). – P. 58-62.

Kopetsky Andrey Aleksandrovich

executive director of the “European Bearing Corporation”
OJSC

Nosenko Vladimir Andriyovich

Doctor of Engineering, professor
Volzhsky polytechnical institute (branch) of FSBEI HPO
“VSTU”, Volzhsky
Phone: (8443) 386834
E-mail: nosenko@volpi.ru

Tyshkevich Vladimir Nikolaevich

Candidate of Technical Sciences, assistant professor
Volzhsky polytechnical institute (branch) of FSBEI HPO
“VSTU”, Volzhsky
Phone: (8443) 397921
E-mail: tubem@mail.ru

Orlov Sergey Vasilyevich

Head teacher
Volzhsky polytechnical institute (branch) of FSBEI HPO
“VSTU”, Volzhsky

УДК 664.657:577.144

Д.К. АХМЕДОВА

СПОСОБ ЗАМЕДЛЕНИЯ ЧЕРСТВЕНИЯ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Проведены исследования влияния внесения пищевого волокна (инулин и олигофруктоза) на сроки сохранения свежести упакованного и неупакованного ржано-пшеничного заварного и пшеничного хлеба функционального назначения.

Ключевые слова: *пищевые волокна, срок сохранения свежести, ржано-пшеничный заварной хлеб, пшеничный хлеб.*

Одной из многочисленных задач, стоящих перед пищевой промышленностью является продление сроков сохранения свежести пищевых продуктов, в том числе хлебобулочных изделий. В условиях, когда все чаще возникает вопрос разработки новых технологий продуктов функциональной направленности с применением нетрадиционного сырья, очень важно определять, каким образом вносимый компонент влияет на показатели качества вновь разработанных изделий и, в том числе на сроки сохранения свежести. Поэтому, задача определения сроков хранения разрабатываемых хлебобулочных изделий функционального назначения, с применением пищевых волокон, является одним из актуальных и обязательных этапов разработки технологии.

При разработке технологии ржано-пшеничного заварного и пшеничного хлеба функционального назначения, в качестве компонента, обогащающего хлеб пищевыми волокнами, используют инулин марки Beneo (Orafti) HP, Beneo (Orafti) GR и олигофруктоза Beneo (Orafti) P 95 (далее по тексту HP, GR и P 95).

Для определения сроков сохранения свежести инулин HP и GR вносят в заварку непосредственно после ее заваривания в виде геля, а олигофруктозу P 95 вносят в заварку в виде раствора в количестве 3,0 % от массы муки. Заварку подвергают осахариванию. Далее замешивают тесто с применением густой ржаной закваски. После выбраживания тесто разделяют, формуют, подвергают расстойке и выпекают. Через 4 часа после выпечки половину образцов упаковывают в пленку полиэтиленовую по ГОСТ 10354 – 82 [1]. Хлеб хранят в течение 4 суток при температуре 18 – 25 °С и относительной влажности воздуха 65 – 75 % и подвергают анализу через 4, 24, 48, 72 и 96 часов.

Для определения сроков сохранения свежести в пшеничном хлебе, образцы готовят следующим образом: HP в количестве 3 % к массе муки вносят при замесе теста в виде геля, инулинсодержащее сырье марки GR в количестве 3 % вносят в виде геля при замесе теста, P 95 вносят при замесе теста в виде раствора в количестве 3,0 % к массе муки. Тесто замешивается с применением большой густой опары. После выбраживания тесто разделяют, формуют, подвергают расстойке и выпекают. Через 4 часа после выпечки половину образцов упаковывают в пленку полиэтиленовую по ГОСТ 10354 – 82 [1]. Хлеб хранят в течение 3 суток при температуре 18 – 25 °С и относительной влажности воздуха 65 – 75 % и подвергают анализу через 4, 24, 48 и 72 часа.

Анализ проводят на автоматизированном пенетрометре АП-4/2, определяя общую деформацию сжатия, остаточную деформацию мякиша или его пластичность. Далее по формулам [2], определяют упругость мякиша, его относительную пластичность и относительную упругость.

Экспериментальные данные приведены на рисунках 1 – 4.

По ГОСТ 8227 – 56 [1] хлеб ржано-пшеничный заварной может храниться в течение 36 часов, поэтому для сравнения полученных данных использовали графических метод.

На рисунке 1 видно, что при внесении инулинсодержащего сырья марки GR продолжительность хранения увеличивается на 14 часов, при внесении марки Р 95 на 42 часов, а НР – на 46 часов по сравнению с контрольным образцом для упакованного хлеба.

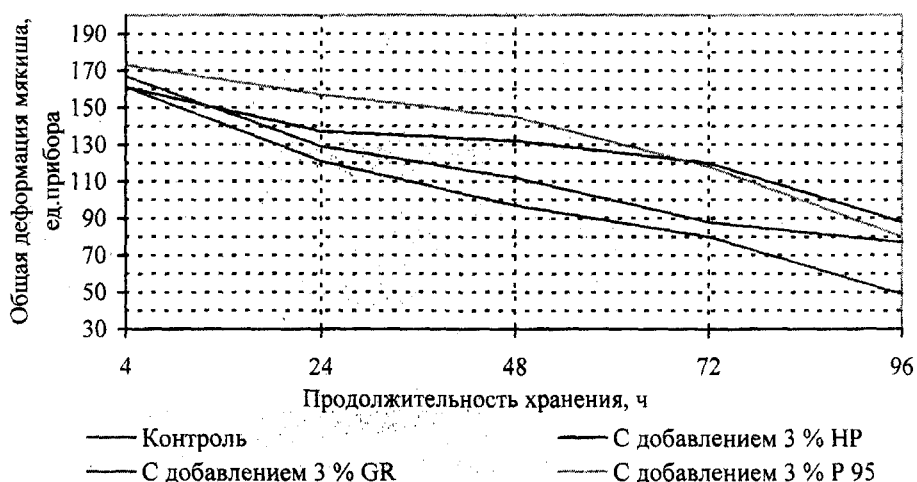


Рисунок 1 - Влияние внесения инулинсодержащего сырья на общую деформацию мякиша упакованного ржано-пшеничного заварного хлеба

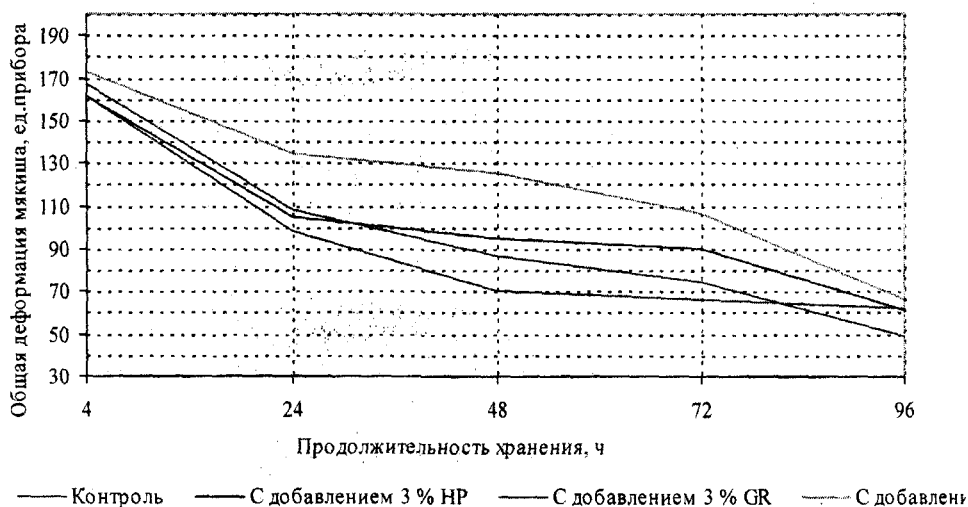


Рисунок 2 – Влияние внесения инулинсодержащего сырья на общую деформацию мякиша неупакованного ржано-пшеничного заварного хлеба

Анализируя данные, полученные для неупакованного хлеба (рисунок 2), пришли к выводу, что при внесении инулинсодержащего сырья марки GR продолжительность хранения, по показателю общей деформации мякиша хлеба, увеличивается на 14 часов, при внесении марки Р 95 – на 48 часов, а НР – на 42 часа по сравнению с контрольным образцом.

По данным, полученным для упакованного хлеба (рисунок 3), можно сделать вывод, что при внесении GR продолжительность хранения сокращается на 16 часов, при внесении НР – на 12 часов, а при внесении Р 95 продолжительность хранения увеличивается на 12 часов, по сравнению с контрольным образцом.

При внесении НР и GR продолжительность хранения неупакованного хлеба сокращается на 16 и 8 часов соответственно (рисунок 4), а при внесении Р 95 продолжительность хранения увеличивается на 18 часов, по сравнению с контрольным образцом.

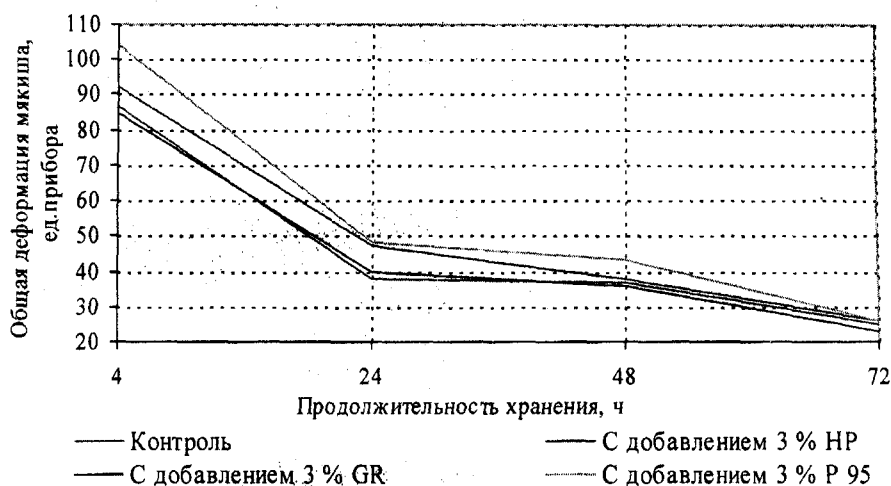


Рисунок 3 – Влияние внесения инулинсодержащего сырья на общую деформацию мякиша упакованного пшеничного хлеба

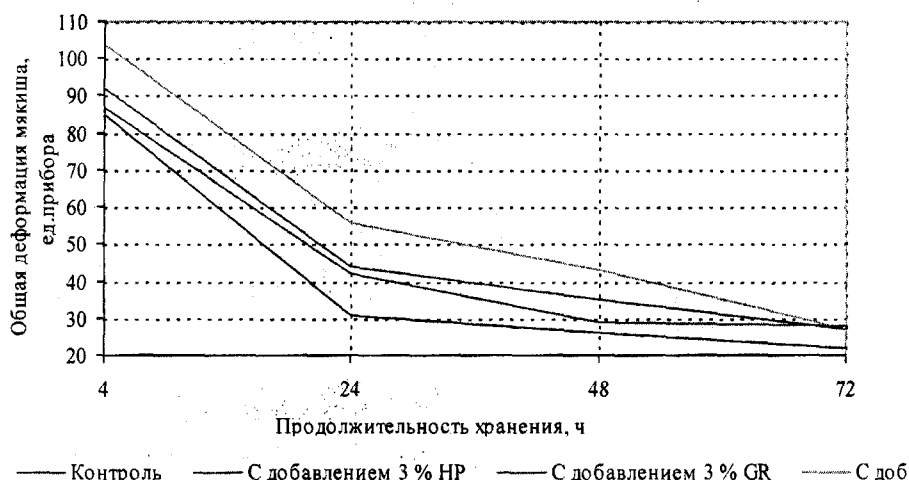


Рисунок 4 – Влияние внесения инулинсодержащего сырья на общую деформацию мякиша неупакованного пшеничного хлеба

Полученные результаты подтверждают данные о том, что упаковывание хлеба не влияет на скорость ретроградации крахмала, а лишь снижает потери влаги мякиша на усыхание, поэтому увеличение продолжительности хранения при внесении инулинсодержащего сырья может быть объяснено только способом связывания влаги молекулами инулина.

Так как при внесении инулинсодержащего сырья в хлебе происходит частичное перераспределение влаги, то, необходимо определить, как связана влага в опытных образцах и каким образом изменяется влажность хлеба в процессе хранения. Результаты представлены на рисунках 5 – 8.

Из данных, приведенных на рисунке 5 видно, что в процессе хранения происходит незначительное снижение влажности хлеба, при этом влажность контрольного образца в процессе хранения снижалась больше, чем в опытных образцах, что подтверждает гипотезу о более прочном связывании влаги в опытных образцах, за счет внесения инулинсодержащего сырья. Однако, сравнивая опытные образцы между собой видно, что в хлебе с внесением HP влажность снижается менее интенсивно, по сравнению с образцом с GR. Наибольшая интенсивность снижения влажности хлеба наблюдается в хлебе с внесением P 95. Это можно объ-

яснить тем, что влага связывается более прочно инулинсодержащим сырьем марки НР, который имеет степень полимеризации не менее 23 гексозных единиц, в то время как степень полимеризации Р 95 составляет от 2 до 8 гексозных единиц. Данные предположения подтверждаются также тем, что через 24 часа хранения наибольшая убыль массы наблюдается в контрольном образце – 10,92 г, в образце с внесением Р 95 убыль массы снижается, по сравнению с контрольным образцом на 8,4 %, при внесении GR (СП – от 12 до 14 г.е.) - на 17,2 %. При внесении НР убыль массы сокращается на 25,0 %. В процессе дальнейшего хранения убыль массы во всех образцах остается практически неизменной, так как образцы упакованы в одинаковый упаковочный материал и парциальное давление во всех образцах одинаково.

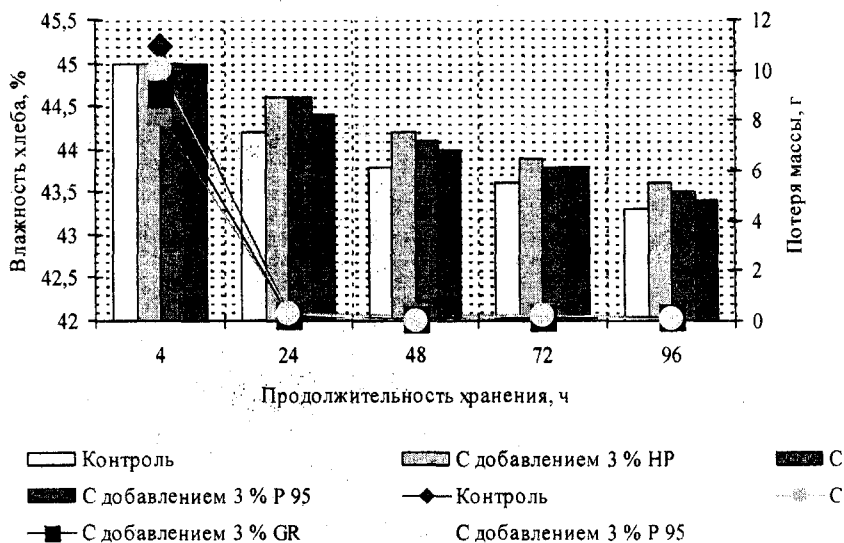


Рисунок 5 – Влияние внесения инулинсодержащего сырья на изменение влажности и потерю массы хлеба в процессе хранения упакованного ржано-пшеничного заварного хлеба

Данные, приведенные на рисунке 6, аналогичны данным, полученным при исследовании упакованного хлеба, и подтверждают, что влажность хлеба тем больше, чем меньше убыль массы. Так же на данной диаграмме видно, что, чем больше степень полимеризации молекул инулина, тем больше влажность хлеба и меньше потеря массы в процессе хранения неупакованного хлеба.

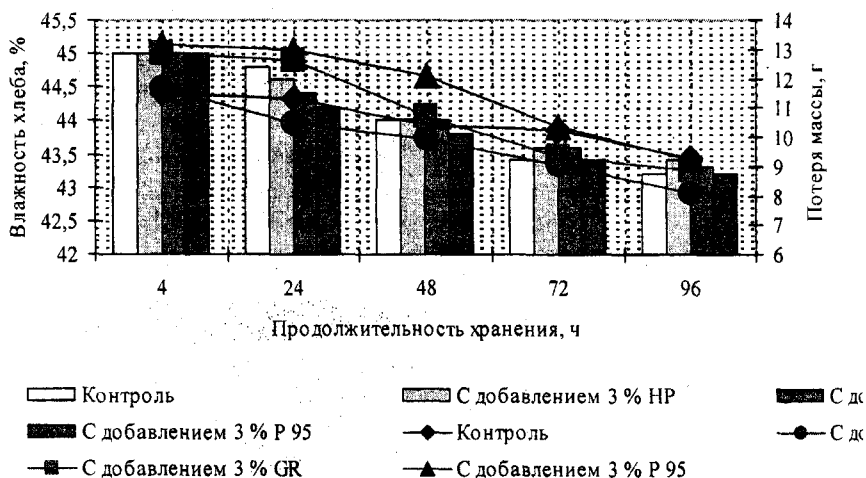


Рисунок 6 – Влияние внесения инулина и олигофруктозы на изменение влажности и потерю массы хлеба в процессе хранения неупакованного ржано-пшеничного заварного хлеба

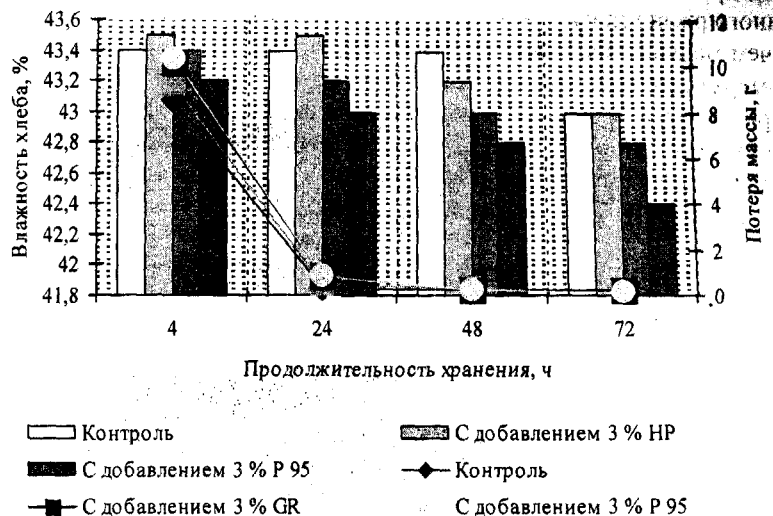


Рисунок 7 – Влияние внесения инулинсодержащего сырья на изменение влажности и потерю массы хлеба в процессе хранения упакованного пшеничного хлеба

Из данных, приведенных на рисунке 7 видно, что в процессе хранения происходит незначительное снижение влажности хлеба, при этом влажность контрольного образца в процессе хранения снижается менее интенсивно, по сравнению с опытными образцами. В хлебе с внесением HP влажность снижается менее интенсивно, по сравнению с образцом с внесением GR. Наибольшая интенсивность снижения влажности хлеба наблюдается в образце с внесением P 95. Это можно объяснить тем, что влага связывается более прочно инулинсодержащим сырьем марки HP, в связи с высокой степенью полимеризации. Данные предположения подтверждаются также тем, что через 24 часа хранения в образце с внесением P 95 убыль массы увеличивается, по сравнению с контрольным образцом, на 21,7 %, при внесении GR (СП – от 12 до 14 г.е.) – на 19,6 %. При внесении HP убыль массы увеличивается на 8,2 %. В процессе дальнейшего хранения убыль массы во всех образцах остается практически неизменной, как и в образцах ржано-пшеничного заварного хлеба.

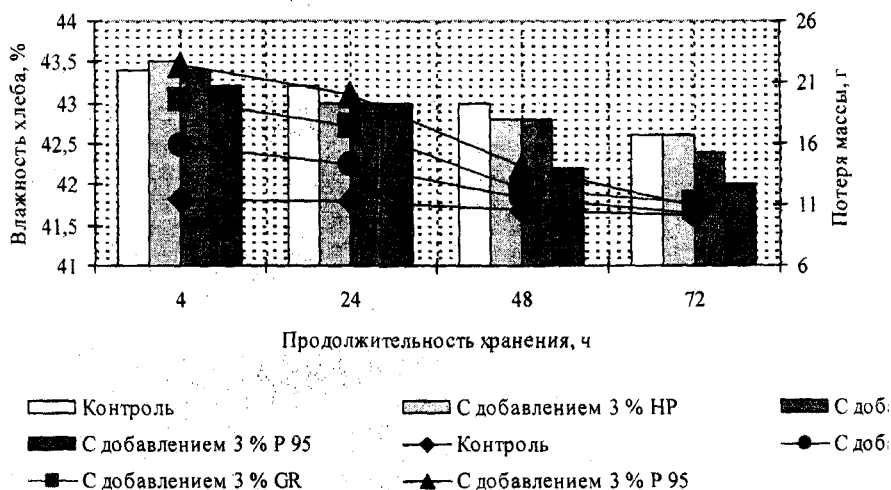


Рисунок 8 – Влияние внесения инулинсодержащего сырья на изменение влажности и потерю массы хлеба в процессе хранения неупакованного пшеничного хлеба

Данные, приведенные на рисунке 8, аналогичны данным, полученным при исследовании упакованного ржано-пшеничного заварного хлеба, и подтверждают, что влажность хлеба тем больше, чем меньше убыль массы. Так же на данной диаграмме видно, что, чем больше степень полимеризации молекул инулина (олигофруктозы), тем больше влажность хлеба и меньше потеря массы в процессе хранения неупакованного хлеба. Данные предположения подтверждаются также тем, что через 24 часа хранения в образце с внесением Р 95 убыль массы увеличивается, по сравнению с контрольным образцом, на 88,7 %, при внесении GR (СП – от 12 до 14 г.е.) – на 71,7 %. При внесении инулина НР убыль массы увеличивается на 38,8 %.

Сокращение сроков сохранения свежести в некоторых образцах вызвано тем, что инулин НР и GR обладают плохой растворимостью, поэтому если в ходе технологического процесса создаются условия для их растворения (температура выше 80 °С), то они, предположительно, вступают в комплексообразование с крахмалом муки, что в дальнейшем затрудняет процесс ретроградации крахмала. Внесение инулина в заварку создает условия для его растворения, поэтому ржано-пшеничный хлеб хранится дольше, а при приготовлении пшеничного хлеба такие условия создать не удастся, поэтому сроки хранения пшеничного хлеба с внесением инулина НР и GR сокращаются. Р 95 растворим даже при комнатной температуре, поэтому хлеб с внесением Р 95 способен дольше сохранять свежесть.

На основании полученных данных, можно рекомендовать выпуск разрабатываемых образцов хлеба как в упакованном, так и в неупакованном виде. Рекомендуемый срок реализации неупакованного ржано-пшеничного заварного хлеба – 48 ч, срок хранения упакованного хлеба – 72 ч. Рекомендуемый срок реализации неупакованного пшеничного хлеба – 36 ч, срок хранения упакованного пшеничного хлеба – 48 ч.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 8227 – 56 Хлеб и хлебобулочные изделия. Укладывание, хранение и транспортирование.
2. Пучкова Л.И. Лабораторный практикум по технологии хлебопекарного производства [Текст] / Л.И. Пучкова. – СПб.: Гиорд, 2004. – 264 с.

Ахмедова Джаминат Камалутдиновна

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и аппараты

пищевых производств»

302030, г. Орел, ул. Московская, д. 65

Тел. (4862) 55-11-87

E-mail: mapp@ostu.ru

D.K. AKHMEDOVA

WAY OF EXTENSION SHELF LIFE OF BAKERY PRODUCTS

Study the effect of food fibers (inulin and oligofructose) on the shelf life unpacked and packed rye-wheat and wheat bread of functional purpose.

Key words: food fibers, shelf life, big dark bread, wheat bread.

BIBLIOGRAPHY

- [1] State standard 8227 – 56 Bread and bakery products. Laying, storage and transportation.

[2] Puchkova L.I. Laboratory workshop on technology of baking production [Text] / L.I. Puchkova. – SPb.:Giord, 2004. – 264 p.

Akhmedova Dzhaminat Kamalutdinovna

State University-Education-Science-Production Complex

Candidate of technical science, senior lecturer at the department of «Machines and apparatus of food production».

302020, Orel, Naugorscoe Chaussee, 29

Phone: (4862) 55 11 87, 89208110856

E-mail: mapp@ostu.ru, dzhamib@yandex.ru

УДК 543.422.3-74

С.А. БЫКОВ, Р.В. ЩУЧКА, Е.А. СУЗДАЛЬСКАЯ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ЭКСТРАКТОВ КОФЕ И КОФЕЙНОЙ ОБОЛОЧКИ

Приведены результаты сравнительного анализа экстрактов ядер обжаренного кофе и кофейной оболочки, полученных при различных технологических режимах.

На основании разработанных методов системного анализа определены качественные характеристики экстрактов из обжаренного кофе и кофейной оболочки, такие как: содержание кофеина и ароматических альдегидов, наличие солей тяжелых и вредных металлов и другие. На основании полученных результатов сделаны выводы об идентичности экстрактов из обжаренного кофе и кофейной оболочки.

Ключевые слова: кофе, экстракт кофейной оболочки, системный анализ, качественные характеристики экстракта.

В настоящее время большое внимание уделяется разработке мероприятий по совершенствованию технологических процессов, сокращению расхода сырья на единицу готовой продукции, широкому использованию комплексной переработки сырья, ресурсосберегающей технологии, утилизации вторичных ресурсов.

Пищевые технологии, в частности производство кофепродуктов, относятся к наиболее материалоемким производствам, поэтому комплексная переработка сырья, наиболее полное извлечение из него ценных компонентов, рациональное использование отходов производства, является важнейшими резервами увеличения выработки продукции и повышения эффективности производства.

В настоящее время одним из отходов современной технологии производства растворимого кофе является кофейная оболочка. Она покрывает зёрна сырого кофе, поступающего на переработку. В процессе обжаривания кофейного зерна происходит отделение оболочки. По существующей технологии оболочку смывают в канализацию. Кофейная оболочка выводится из процесса кофейного производства, так как принято считать, что она не пригодна к производству растворимого кофе, как из-за её низкой экстрактивности, так и из-за того, что традиционно ей не придавали никакого значения.

Авторские разработки этой проблемы позволили предложить совместный способ экстрагирования измельчённого кофе и кофейной оболочки в аппаратах непрерывного действия, используя при этом модернизированный трёхступенчатый способ получения кофейного экстракта.

К качеству пищевой продукции предъявляются особые требования, поскольку некачественные продукты питания не только не обладают необходимыми потребительскими свойствами, но и могут представлять опасность для здоровья человека.

В связи с этим возрастает значимость проведения эффективных анализов для определения адекватности экстракта, полученного предлагаемым способом, запатентованным авторскими исследованиями [2; 3], экстракту, выработанному по прежней технологии.

Продукт совместного использования растительного сырья – кофейный экстракт, полученный предложенным методом, был подвергнут качественному анализу в Российской академии сельскохозяйственных наук во ВНИИ удобрений и агропочвоведения.

РЕЗУЛЬТАТЫ СПЕКТРАЛЬНОГО ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА

В данном разделе приводятся результаты использования спектральных люминесцентных методов анализа для экспресс контроля процесса гидролиза и экстрактивных свойств кофейной оболочки.

Люминесцентные измерения проводились на экспериментальной спектральной установке, в состав которой входят дифракционные монохроматоры МДР-3 и фотоэлектрическая приставка ФЭП-3. В качестве источника возбуждающего излучения использовалась ртутно-кварцевая лампа ДРТ-250 и галогенная лампа КГМ-24-150. Измерения проводились при комнатной температуре, а также при температуре кипения жидкого азота.

В работе проводился спектрально-люминесцентный анализ экстрактов кофейной оболочки и ядер кофе.

Люминесцентные измерения кофейных продуктов позволили установить, что на спектрах люминесценции и спектрах возбуждения люминесценции удается выявить ряд хорошо сформированных пиков (максимумов на спектрах люминесценции и спектрах возбуждения люминесценции), позволяющих судить о наличии в анализируемых образцах ряда люминесцирующих компонентов, а именно таких биологически активных веществ и продуктов их окислительной и термической деградаци, как хлорофил, триптофан, флавоноиды, полиненасыщенные жирные кислоты, а также люминесцирующие вещества, образующиеся в ходе карбониламинных реакций.

Так, на спектрах люминесценции и спектрах возбуждения люминесценции водных экстрактов кофе образца ($t = 180^{\circ}\text{C}$; $C = 6,7\%$) выявляются полосы излучения и возбуждения, соответствующие свечению ароматических альдегидов, $\lambda_{\text{в}} = 475 \text{ нм}$, $\lambda_{\text{с}} = 370\text{-}375 \text{ нм}$ (рисунок 1, кривая 1 и рисунок 2, кривая 2 соответственно). Проявление этих полос на спектрах люминесценции и спектрах возбуждения люминесценции свидетельствует об оптимальной стадии прохождения карбониламинных реакций, в которые вовлекаются флавоноиды и полиненасыщенные жирные кислоты и белковые вещества. В то же время на соответствующих спектрах образца ($t = 200^{\circ}\text{C}$, $C = 7,5\%$), полученного при более жестких условиях (рисунки 1 и 2) в указанной области спектра полосы отсутствуют, а имеются в более длинноволновой области спектра, что свидетельствует о накоплении в образцах продуктов окисления ароматических альдегидов и появлении продуктов более глубокой стадии прохождения карбониламинной реакции ($\lambda_{\text{в}} = 500 \text{ нм}$) рисунок 1, кривая 7.

На спектрах люминесценции и возбуждения люминесценции кофейных экстрактов выявляются также полосы, соответствующие фурановым альдегидам ($\lambda_{\text{в}} = 510$, $\lambda_{\text{с}} = 440 \text{ нм}$) рисунок 1, кривые 3; 5, диацетила ($\lambda_{\text{в}} = 520\text{-}525 \text{ нм}$) рисунок 1, кривые 4; 6. Известно, что эти компоненты имеют большое значение в создании специфического аромата обжаренных кофейных зерен.

На спектрах люминесценции гидролизатов оболочек кофе выявляются полосы излучения, наиболее интенсивные максимумы расположены в спектральной области 510-550 нм и соответствующих свечению люминесцирующих веществ, образующихся в ходе карбониламинных реакций. При этом большей глубине прохождения карбониламинных реакций соответствует и больший сдвиг максимумов на спектрах люминесценции в длинноволновую область и возрастание интенсивности в максимумах полос излучения соответствующих компонентов кофе (рисунок 1, кривые 3-7).

Так, на спектрах люминесценции гидролизатов оболочек, измеренных при $\lambda_{\text{в}} = 365 \text{ нм}$ (рисунок 3, кривые 1-3), выявляется полоса излучения, расположенная при 510 нм для образца ($t = 140^{\circ}\text{C}$, $C = 1,6\%$); 520 нм для образца ($t = 160^{\circ}\text{C}$, $C = 1,8\%$); 530 нм для образца ($t = 200^{\circ}\text{C}$, $C = 2,1\%$).

Таким образом, проведенные исследования спектрально-люминесцентных характеристик кофейных экстрактов и гидролизатов кофейных оболочек свидетельствуют об идентичности их состава, что видно при анализе спектров люминесценции в длинноволновой области спектра. Незначительные отличия по данным спектрального люминесцентного анализа имеются лишь в коротковолновой области спектра, в которую вносят основной вклад вещества фенольной природы. Однако следует ожидать, что этот недостаток должен нивелироваться за счет смешения партий гидролизатов кофейной оболочки и кофейных экстрактов в рекомендуемых соотношениях и таким образом получать продукт высокого качества.

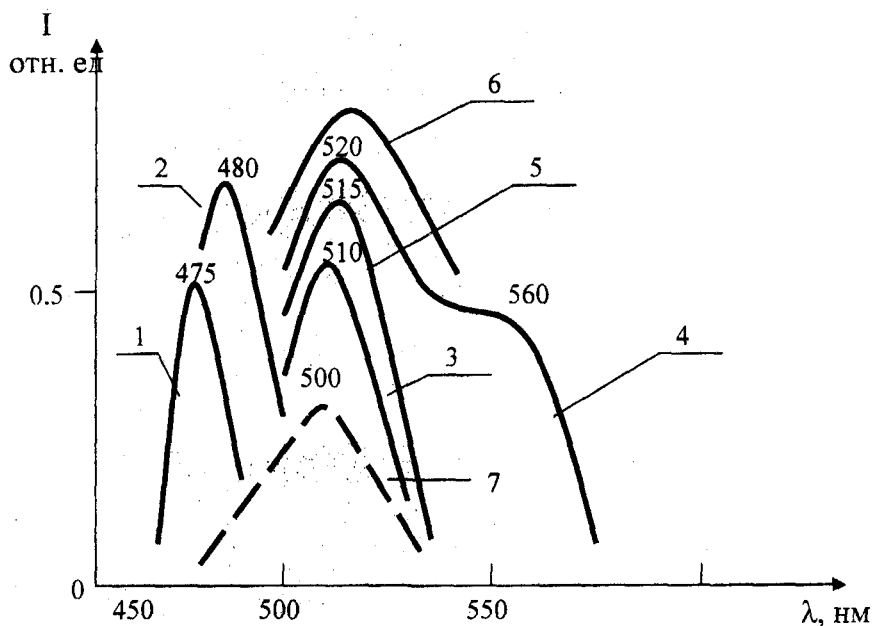


Рисунок 1 - Спектры люминесценции водных экстрактов кофе, полученных при различных режимах экстрагирования. Образец ($t = 180^{\circ}\text{C}$, $C = 6,7\%$): 1 - $\lambda_{\text{в}} = 355$ нм; 2 - $\lambda_{\text{в}} = 375$ нм; 3 - $\lambda_{\text{в}} = 410$ нм; 4 - $\lambda_{\text{в}} = 410$ нм. Образец ($t = 200^{\circ}\text{C}$, $C = 7,5\%$): 5 - $\lambda_{\text{в}} = 410$ нм; 6 - $\lambda_{\text{в}} = 440$ нм; 7 - $\lambda_{\text{в}} = 365$ нм.

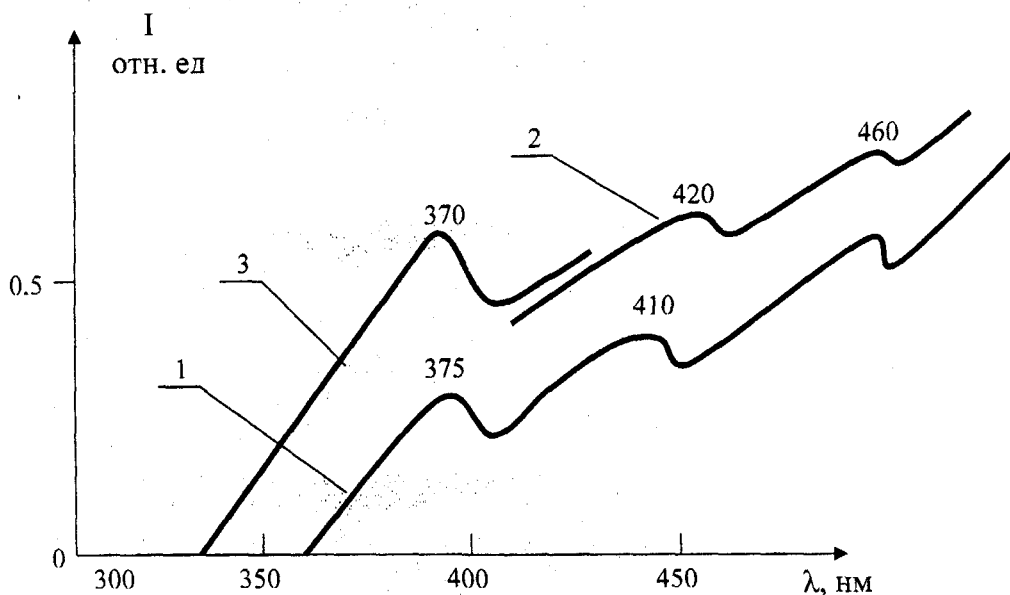


Рисунок 2 - Спектры возбуждения люминесценции образца 1 - $\lambda_{\text{в}} = 530$ нм; 2 - $\lambda_{\text{в}} = 475$ нм; 3 - $\lambda_{\text{в}} = 530$ нм.

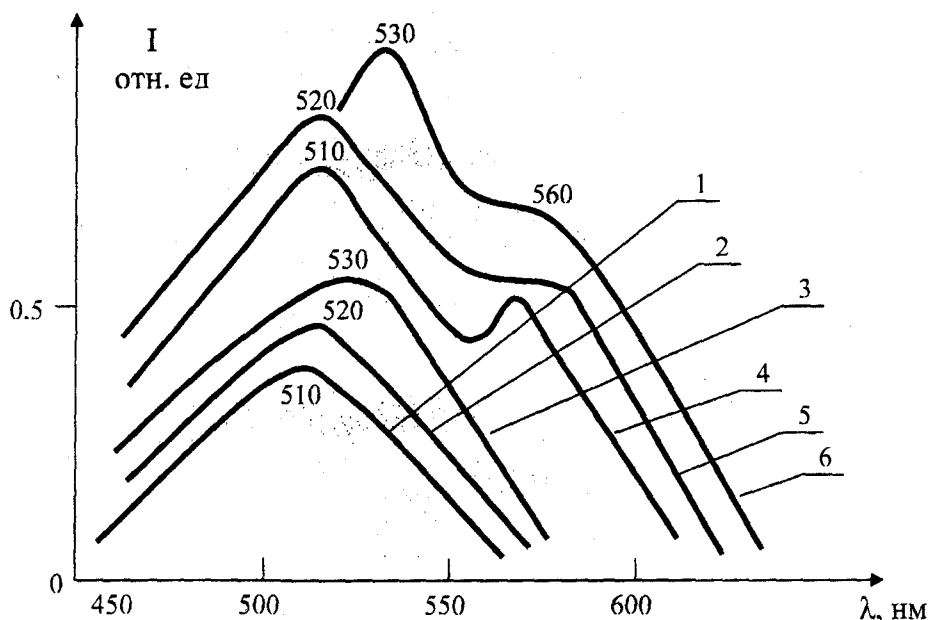


Рисунок 3 - Спектры люминесценции экстракта гидролизованной оболочки при 77°К. Образец ($t = 140^{\circ}\text{C}$): 1 – $\lambda_{\text{в}} = 365 \text{ нм}$; 4 – $\lambda_{\text{в}} = 410 \text{ нм}$. Образец ($t = 160^{\circ}\text{C}$): 2 – $\lambda_{\text{в}} = 365 \text{ нм}$; 5 – $\lambda_{\text{в}} = 440 \text{ нм}$. Образец ($t = 200^{\circ}\text{C}$): 3 – $\lambda_{\text{в}} = 365 \text{ нм}$; 6 – $\lambda_{\text{в}} = 410 \text{ нм}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ ПЛАЗМЕННО-ЭМИССИОННЫМ МЕТОДОМ

В предыдущих исследованиях люминесцентным методом устанавливалась адекватность предлагаемых экстрактов существующим в основном по органическим соединениям, однако следует учитывать и неорганические вещества, такие, например, как соли тяжелых металлов, способные вызвать тяжелые отравления человеческого организма. Для определения солей тяжелых и вредных металлов в полученных экстрактах из кофе и кофейной оболочки был использован плазменно-эмиссионный метод, как наиболее подходящий для этих целей.

Атомно-эмиссионный анализ с индукционной плазмой основан на возбуждении элементов средой высокотемпературного (11000°K) ионизированного аргона с последующей регистрацией их характеристических спектров эмиссии.

Результаты анализов, выполненных на плазменно-эмиссионном анализаторе "ICAP - 500" (Япония), экстрактов кофе и кофейной оболочки, полученных при $t = 210^{\circ}\text{C}$ без выдержки, занесены в таблицу 1.

Таблица 1. - Результаты анализов образцов экстрактов кофе и кофейной оболочки

№ п/п	Определяемый металл	Экстракт кофе, содержание в мг/л	Экстракт кофейной оболочки, содержание в мг/л
1.	Кадмий	0,001	0,001
2.	Цинк	0,46	0,85
3.	Никель	0,016	0,014
4.	Медь	0,020	0,046
5.	Хром	0,07	0,08

Эксперименты по определению содержания солей тяжелых и вредных металлов в экстрактах кофе и кофейной оболочки проводились в Российской академии сельскохозяйственных наук.

Результаты анализов образцов экстрактов кофе и кофейной оболочки показали, что содержание тяжелых и вредных металлов в исследуемых экстрактах примерно одинаковое. Причем, данное содержание металлов в полученных экстрактах входит в интервалы, определенные ранее для кофейных экстрактов рядом исследователей [1; 4; 5; 6; 7; 8].

На основании разработанных методов системного анализа определены качественные характеристики экстрактов из обжаренного кофе и кофейной оболочки, такие как: содержание кофеина и ароматических альдегидов, наличие солей тяжелых и вредных металлов и другие. На основании полученных результатов сделаны выводы об идентичности экстрактов из обжаренного кофе и кофейной оболочки.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов, К.И. Разработка ступенчатого способа непрерывного получения экстракта из обжаренного кофе [Текст]: дис. ... канд. техн. наук, - Москва: 1987. - 282 с.
2. Быков, С.А. Исследование диффузионных и массообменных свойств смесей измельченных растительных материалов [Текст]: монография. - Елец: ЕГУ им. И. А. Бунина, 2010. - 196 с.
3. А.с. 1709976 СССР, А23F 5/24. № 4719589/13 Быков, С.А., Виноградов К.И. [и др.]: Заявлено 17.07.89, опубл. 07.02.92. Бюл. № 5.
4. Гребенюк, С.М., Быков С.А. Определение эффективного гидравлического диаметра каналов во взвешенных слоях измельченного растительного сырья в экстракторах непрерывного действия [Текст] / С.М. Гребенюк, С.А. Быков // Хранение и переработка сельхозсырья. - М.: 2002. - № 1. - С. 51-53.
5. Нахметов, Ф.Г. Новая технология производства растворимых кофейных напитков [Текст] / Ф.Г. Нахметов, Т.М. Пастушкова, А.Ф. Пушкарев // Консервная и овощесушильная промышленность. - 1983. - № 3. - С. 8-10.
6. Состояние и пути развития технологии производства быстрорастворимого кофе [Текст] / А.С. Гинзбург, В.И. Ковнацкий, В.И. Сыроедов [и др.] - М.: ЦНИИТЭИ Пишпром., 1971. - 33 с.
7. Sivetz, M. History of the soluble coffee industry [Text] / M. Sivetz // Tea and Coffee Trade Journal; 1985. - N.2. - Pp. 5-10.
8. Tauara, M. Some factors affecting cellulose degradation with *Pellicularia filatertosa* cellulaes [Text] / M. Tauara, S. Takinawa, R. Matsuno, T. Kamihibo / J. Ferment. Technol.: 1978. - V.56. - N.2. - Pp. 108-113.

Быков Сергей Анатольевич
ФГБОУ ВПО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина»,
г. Елец
Кандидат сельскохозяйственных наук
Доцент кафедры «Автоматизированные системы управления и математическое обеспечение»
тел: 89058552287
E-mail: bykov_sergei_67@mail.ru

Щучка Роман Викторович
ФГБОУ ВПО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина», г. Елец
Кандидат технических наук
Доцент кафедры «Автоматизированные системы управления и математическое обеспечение»
E-mail: bykov_sergei_67@mail.ru

Суздальская Ева Анатольевна
ФГБОУ ВПО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина», г. Елец
Старший преподаватель кафедры «Автоматизированные системы управления и математическое обеспечение»
E-mail: bykov_sergei_67@mail.ru

S.A. BYKOV, R.V. SHCHUCHKA, E.A. SUZDALSKAJ

DEFINITION AND ANALYSIS OF THE QUALITY OF COFFEE AND ITS SHELL EXTRACTS

You can see the results of the comparative analysis of roasted coffee kernels and coffee shell extracts, obtained by different technological modes of operation.

On the basis of devised methods of system analysis there have been determined the qualitative characteristics of extracts from roasted coffee and its shell, such as, the content of caffeine and aromatic aldehydes, the presence of heavy and harmful metals salts and others. The conclusions about the identity of extracts from roasted coffee and its shell were made on the basis of these results.

Keywords: coffee, coffee shell extracts, system analysis, qualitative characteristics of extracts

BIBLIOGRAPHY

- [1] Vinogradov, K.I. Elaboration of the stage method of continuous receipt of the extract from of the roast coffee [Text] : Dissertation... Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Moscow: 1987.- p.282.
- [2] Bykov, S.A. Investigation of diffusion and mass-exchange of the property of shredded vegetable raw materials mixture [Text] : monograph / S.A. Bykov.- Elets: ESU n. I.A.Bunins, 2010. - p.196.
- [3] Bykov, S.A., Vinogradov K.I., [etc.] A.C.(patent) 1709976 USSR, A23F 5/24. № 4719589/13: Declare 17.07.89, publish. 07.02.92. Bulletin № 5.
- [4] Grebeniuk, S.M. Determining the efficient hydraulic diameter of channels in suspended layers of shredded vegetable raw materials in the continuous-action extractors [Text] / S.M. Grebeniuk, S.A. Bykov // Storage and Processing of Farm Products.- Moscow: 2002. - № 1. - Pp. 51-53.
- [5] Nachmetov, F.G. New technology of production of the solubility coffee beverages [Text] / F.G. Nachmetov, T.M. Pastushkova. A.F. Pushkarev // The tinned food and vegetable-drying industry. - 1983. - № 3.- Pp. 8-10.
- [6] Siroedov, V.I. The condition and the way of the technology manufacture of the solubility coffee [Text] / V.I. Siroedov, A.S. Ginsburg, V.I. Kovnatski [etc.] - Moscow: CSIITEI Food industry, 1971.- P.33.
- [7] Sivetz, M. History of the soluble coffee industry [Text] / M. Sivetz // Tea and Coffee Trade Journal; 1985.- N.2.- Pp. 5-10.
- [8] Tauara, M. Some factors affecting cellulose degradation with *Pellicularia filatertosa* cellulae [Text] / M. Tauara, S. Takinawa, R. Matsuno, T. Kamihibo / J. Ferment. Technol.: 1978. - V.56. - N.2. - Pp. 108-113.

Sergei Anatolievich Bykov
Candidate of Science (Engineering),
Associate Professor
Elets, Lipetsk Region
Phone: 89058552287
E-mail: bykov_sergei_67@mail.ru

Roman Viktorovich Shchuchka
Candidate of Science (Agriculture),
Associate Professor
Elets, Lipetsk Region
Phone: 89058552287
E-mail: bykov_sergei_67@mail.ru

Eva Anatolievna Suzdalskaya
Senior Lecturer
Elets, Lipetsk Region
Phone: 89058552287
E-mail: bykov_sergei_67@mail.ru

УДК 613.155:537.562

К.А. ЧЕРНЫЙ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА БЕЗОПАСНОСТИ И КАЧЕСТВА ВОЗДУХА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ПРИ КОНТРОЛЕ АЭРОИОННОГО СОСТАВА НА СОВРЕМЕННОМ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В качестве нормативного критерия, устанавливающего область рационального применения и оптимизации параметров аэроионного состава, предложено рассматривать спектральное распределение аэроионов по электрической подвижности. Приведены результаты исследования особенностей параметров распределения аэроионов и их модификация при проведении мероприятий по искусственной ионизации воздуха при помощи коронных аэроионизаторов. На основе выявленных закономерностей предложено устанавливать методологическую основу регламентации применения устройств и систем аэроионизации.

Ключевые слова: ионизация воздуха; аэроионизаторы.

В задачах обеспечения комфортных и безопасных условий пребывания работников в производственных и служебных помещениях различного назначения особую роль приобретает проблема обеспечения качества воздушной среды, снижения фактора риска появления недомогания и различных заболеваний.

Одним из показателей качества воздуха помещений является аэроионный состав, который характеризуется объемными концентрациями аэроионов определенных групп электрических подвижностей и определенного знака заряда. По электрической подвижности, т.е. по скорости движения аэроионов в электрическом поле единичной величины, аэроионы подразделяются на легкие – подвижностью более $0,5 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, тяжелые – подвижностью менее $0,01 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ и средние промежуточные – подвижностью $0,01-0,5 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$. Отметим, что такая классификация и границы в известной степени формальны и вызваны возможностью измерительной техники.

В помещениях происходит снижение концентраций легких аэроионов в силу увеличения механизма их стока на заряженные поверхности и осаждения на аэрозольные частицы. Для машиностроительных предприятий аэрозольное загрязнение характерно для литейных производств (в процессах приготовления формовочной и стержневой массы, очистке и обрубке литья, при плавке и заливке металла, сушке ковшей, изготовлении стержней и применении стержневых автоматов с нагреваемой оснасткой, выбивки отливок из форм, прокатке и пр.), для кузнечных и термических цехов (в процессах горения при неудовлетворительном отводе продуктов горения, цементации, азотирования, цианирования и пр.), для механических цехов (в процессах штамповки, обточки, шлифовки, полировки с применением смазочно-охлаждающих жидкостей), для механосборочных цехов (в сварочных процессах, процессах нанесения металлических покрытий, гальванических и окрасочных операциях, включая предшествующую им механическую очистку изделия). Длительное пребывание в такой неблагоприятной воздушной среде человека может влиять на его самочувствие, работоспособность, здоровье. Следовательно, необходимо проведение мероприятий по коррекции аэроионного состава воздушной среды. Особое внимание, согласно общепринятому мнению, следует уделить концентрациям отрицательных легких аэроионов.

В настоящее время в санитарно-эпидемиологических правилах и нормативах [1] для отрицательных аэроионов регламентированы только количественные характеристики – минимальные (600 см^{-3}) и максимальные ($50\,000 \text{ см}^{-3}$) объемные концентрации. Однако, не

смотря на то, что в техническом отношении задача проведения мероприятий по искусственной отрицательной аэроионизации путем применения наиболее широко распространенного способа коррекции аэроионного состава – ионизации при помощи электрических коронных разрядов – не представляет каких-либо трудностей, следует помнить, что гигиенические особенности искусственной ионизации являются достаточно сложными и, следовательно, при искусственной ионизации требуется комплексный контроль, в том числе и за качественными характеристиками аэроионного состава.

Одной из важнейших качественных характеристик аэроионного состава является спектральное распределение (спектр) объемных концентраций аэроионов по электрической подвижности, характеризующее физико-химическую природу аэроионов [2]. До настоящего времени исследования спектра подвижности аэроионов не достаточно внедрены в практику, так как технические, эксплуатационные и стоимостные характеристики измерительной аппаратуры, пригодной для спектрометрии аэроионов, не полностью удовлетворяют современным требованиям.

Целью настоящей статьи является на примере проведенных автором исследований показать важность учета особенностей изменения как объемных концентраций аэроионов, так и спектрального распределения концентраций аэроионов по электрической подвижности при регламентации и нормировании аэроионного состава, а также определить возможные способы решения определенных актуальных задач, связанных с оценкой аэроионного состава как параметра качества воздушной среды помещений и с разработкой методических рекомендаций по применению устройств и систем аэроионизации.

Предметом исследований выступали концентрации отрицательных аэроионов подвижностью более $0,1 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ спектральное распределение отрицательных аэроионов по электрической подвижности и его модификация по мере удаления от аэроионизатора. Исследования проводились в помещении объемом 30 м^3 в отсутствии людей (кроме исследователя). Воздух ионизировался при помощи электрического коронного аэроионизатора с напряжением на коронирующих электродах равным 36 кВ. Измерения спектрального распределения аэроионов проводились интегральным аспирационным счетчиком аэроионов [3] с высокой разрешающей способностью в диапазоне подвижностей $0,1\text{--}7,9 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ (значения предельных подвижностей перекрываются пределами 0,1; 0,13; 0,16; 0,2; 0,25; 0,32; 0,4; 0,5; 0,63; 0,79; 1,00; 1,26; 1,58; 2,00; 2,51; 3,16; 4,00; 5,00; 6,30; 7,90).

Поскольку человеческий организм наиболее приспособлен к природным воздушным средам, результаты исследований спектра отрицательных аэроионов в искусственно ионизированном воздухе помещения сравнивались со спектральным распределением в чистом природном воздухе, заимствованном статистически достоверных результатов научных исследований [4].

Распределения отрицательных аэроионов по подвижности и модификация спектра аэроионов в зависимости от расстояния d до аэроионизатора представлены на рисунке 1 и на рисунке 2 соответственно.

В распределении аэроионов, созданных аэроионизатором, по сравнению с распределением атмосферных ионов [4], значительную долю составляют аэроионы средней промежуточной группы подвижности. В непосредственной близости от аэроионизатора в спектральном распределении наблюдаются ярко выраженные две моды средних промежуточных аэроионов с подвижностью порядка 0,5 и $0,1 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ соответственно. По мере удаления от аэроионизатора мода $0,5 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ постепенно вырождается, при этом наблюдается усиление моды $0,1 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$. При дальнейшем увеличении расстояния от аэроионизатора мода $0,5 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ не наблюдается, мода $0,1 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ имеет тенденции к вырождению.

Появление аэроионов с подвижностями $0,1\text{--}1,0 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ согласно [5, 6] наблюдается при облучении интенсивным ионизирующим излучением, концентрации и размер образующихся в результате действия источника ионизации аэрозольных частиц зависят главным образом от активности и времени действия источника ионизации. При ионизации воздуха слабыми ионизирующими излучениями (например, подобными обычным атмосферным интен-

сивностям ионообразования порядка $10 \text{ см}^{-3} \text{ с}^{-1}$) не происходят конверсионные переносы «газ-частица», не формируются ощутимые количества аэроионов промежуточной (подвижности порядка $0,1 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$) группы, в спектральном распределении аэроионов по подвижности отсутствует или незначительна фракция средних аэроионов. Ситуация изменяется по мере увеличения уровней интенсивности ионообразования. – происходит формирование аэрозольных частиц в результате газо-химических превращений, в спектральном распределении средние аэроионы появляются в значительных количествах. Возможным механизмом формирования фракции средних промежуточных аэроионов в таком случае видится конденсация вновь образованных аэрозольных частиц на легкие аэроионы. В результате конденсации аэроионы тяжелеют, формируется фракция средних промежуточных аэроионов. В дальнейшем средние промежуточные аэроионы принимают участие в образовании более тяжелых частиц, концентрации как легких, так и средних промежуточных аэроионов уменьшаются из-за образования значительного количества более тяжелых фракций ионов. По своей химической природе средние аэроионы, образованные описанным выше способом, являются ионами, в своем составе содержащими гидроксоний, озон, оксиды азота или являются каплями азотной кислоты [7, 8, 9].

На основании выполненных исследований, при малых временах облучения (при измерении спектра в непосредственной близости от коронного аэроионизатора) в воздухе формируются средние промежуточные аэроионы с модой по подвижности порядка $0,5 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$. По мере удаления от аэроионизатора (увеличении времени облучения) доля средних промежуточных аэроионов в суммарной концентрации аэроионов уменьшается, формируются преимущественно менее подвижные аэроионы и форма спектра приближается к природной.

Таким образом, несмотря на широко известные результаты научных исследований о позитивном влиянии на человеческий организм отрицательной аэроионизации в помещениях, нельзя считать их окончательно готовыми к широкому применению. Проведение мероприятий по искусственной ионизации воздушной среды в помещениях не ограничивается только установкой коронного аэроионизатора, а требуют проведения всесторонних количественных (объемные концентрации аэроионов) и качественных (спектральное распределение аэроионов по электрической подвижности) исследований с целью достижения максимального положительного эффекта влияния ионизированного воздуха на организм человека.

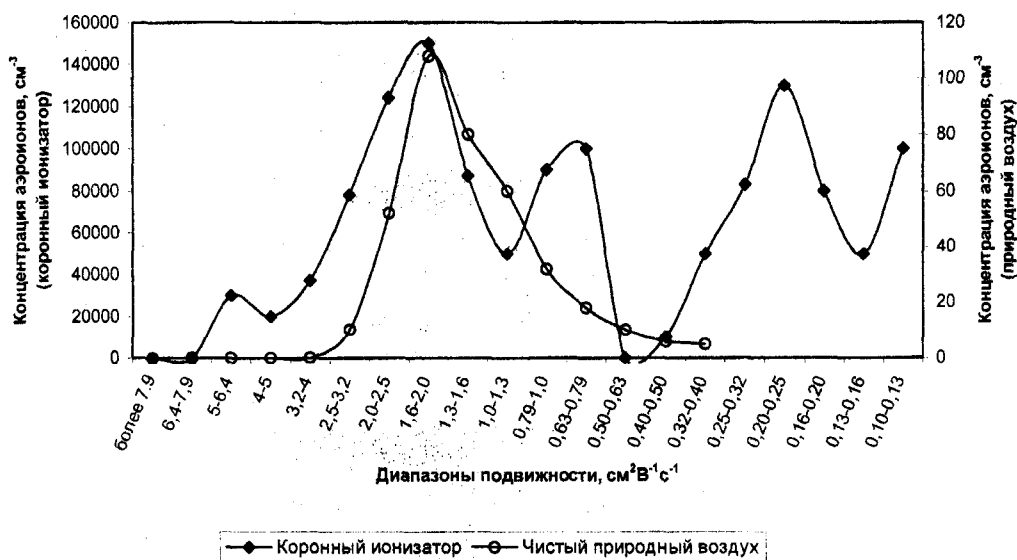


Рисунок 1 - Спектральные распределения по подвижности отрицательных аэроионов, сгенерированных коронным ионизатором и аэроионов чистого атмосферного воздуха (по данным [4])

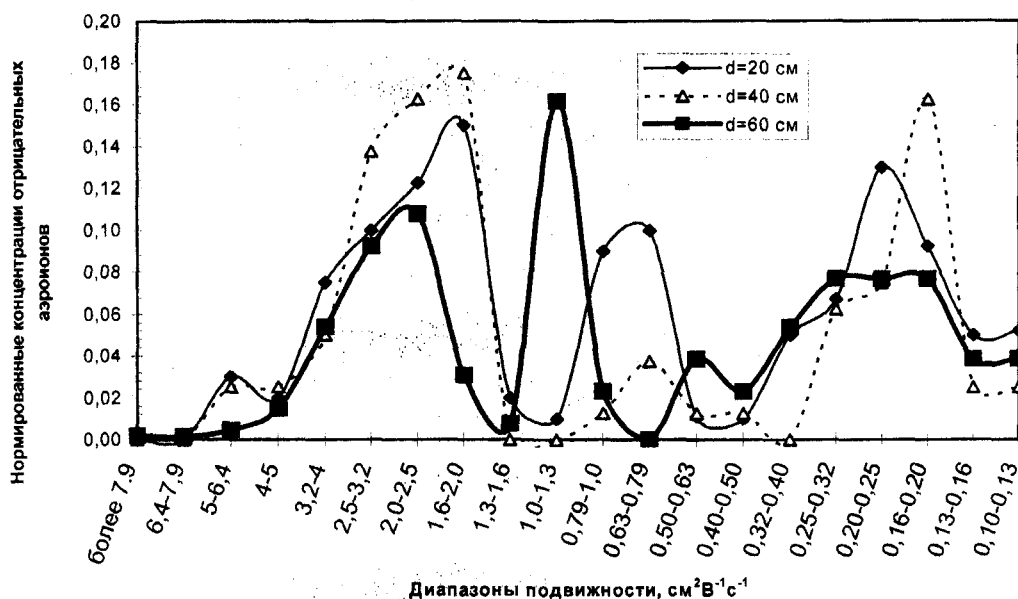


Рисунок 2 - Зависимость распределения аэроионов от расстояния d до коронного аэроионизатора

Проведенные исследования показывают, что не все типы аэроионизаторов создают в воздухе аэроионный состав с качественными параметрами, подобными наблюдаемым в чистом природном воздухе. Обнаруженные в значительных концентрациях вблизи коронных аэроионизаторов средние промежуточные аэроионы по своей химической природе могут являться частицами вредных веществ.

Поскольку в современной литературе отсутствуют данные о биологическом действии средних промежуточных аэроионов в виду их незначительного количества в природных условиях, учитывая возможное негативное влияние средних промежуточных аэроионов на самочувствие человека, для широкого применения искусственной отрицательной аэроионизации (особенно коронных аэроионизаторов с большой производительностью, например, «люстр Чижевского») необходимо проведение аналогичных представленным выше исследований с целью выявления характеристик генерации дополнительных заряженных частиц в воздухе, выбора благоприятных мест расположения и режимов эксплуатации аэроионизаторов.

Использование не только количественных, но и качественных нормируемых параметров аэроионного состава при контроле качества воздушной среды помещений делает возможным более полное обеспечение безопасности и поддержания работоспособности человека в помещениях различного назначения, и, кроме того, позволяет научно обоснованно разрабатывать методики применения аэроионизаторов и проводить новые исследования в области искусственной аэроионизации.

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений: СанПиН 2.2.4.1294-03: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы Рос. Федерации: утв. Главным государственным санитарным врачом Рос. Федерации 18 апреля 2003 г.

2. Мешеряков, А.Ю. Проблемы оценивания аэроионного состояния среды обитания [Текст] / А.Ю. Мешеряков, Ю.А. Федотов // Приборы и системы управления. - 1998. - № 11. - С. 75-79.
3. Черный, К.А. Физические параметры и способы формирования биопозитивной воздушной среды в замкнутых помещениях [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / К.А. Черный. - Пермь, 1999. - С. 49-59.
4. Horrak, U. Statistical characterization of air ion mobility spectra at Tahkuse Observatory: Classification of air ions [Text] / U. Horrak, J. Salm, H. Tammet // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. - 2000. - Vol. 105. - Pp. 9291-9302.
5. Ветчинин, С.П. О подвижности тяжелых комплексов [Текст] / С.П. Ветчинин, И.Г. Якубов // Журнал теоретической физики. - 1976. - № 10. - С. 2162-2167.
6. Корниенко, В.И. Количественная модель аэрозольобразования при радиоллизе воздуха [Текст] / В.И. Корниенко, В.В. Смирнов // Тр. ин-та экспериментальной метеорологии. - 1989. - Вып. 48 (138). - С. 71-78.
7. The effect of wire heating and configuration on ozone emission in a negative ion generator [Text] / L. Liu [et al.] // Journal of Electrostatics. - 2000. - Vol. 48. - Pp. 81-91.
8. Rehbein, N. Nox production in spark and corona discharges [Text] / N. Rehbein, V. Cooray // Journal of Electrostatics. - 2001. - Vol. 51-52. - Pp. 333-339.
9. An analysis of the evolution of negative ions produced by a corona ionizer in air [Text] / K. Nagato [et al.] // International Journal of Mass Spectrometry. - 2006. - Vol. 248. - Pp. 142-147.

Константин Анатольевич Черный

Кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный
исследовательский политехнический университет»

Тел: (342) 219-80-49

E-mail: sms@pstu.ru

K.A. CHERNYI

IMPROVEMENT OF WORKPLACE AIR SAFETY AND QUALITY MONITORING METHODS WHEN THE AIR ION CONTAMINATIONS ARE CONTROLLING IN THE MODERN ENGINEERING COMPANY

The spectra of mobility air ion distribution as a corresponding to norm criteria of using and parameter optimization of air ion contaminations is suggested. Research results of mobility spectra distribution character and their modification when performing actions on corona air ionization are presented. On the basis of discovered regularities the standard-setting of air ionization device operation is proposed.

Key words: air ionizers; air ion mobility spectra

BIBLIOGRAPHY

- [1] Sanitary demands of air ion composition in working and public places: Hygienical rule SanPiN 2.2.4.1294-03 [in Russian].
- [2] Hygienic requirements to aeroion structure of industrial and public premises air: SanRuN 2.2.4.1294-03: Sanitary-and-epidemiologic rules and specifications of Russian Federations: confirmed by the major sanitar doctor Russian Federation on 18 April 2003
- [3] Mesheryakov, A.Yu Estimation problems of air ion contamination in the indoor environment [Text] / A.Yu. Mesheryakov, Yu.A Fedotov // Devices and systems of control. - 1998. - №11. - Pp. 75-79 [in Russian].
- [4] Chernyi, K.A. Physical parameters and ways of formation of biopositive indoor air environment [Text] : Ph.D. thesis. - Perm, 1999. - Pp. 49-59 [in Russian].
- [5] Horrak, U. Statistical characterization of air ion mobility spectra at Tahkuse Observatory: Classification of air ions [Text] / U. Horrak, J. Salm, H. Tammet // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. - 2000. - Vol. 105. - Pp. 9291-9302.
- [6] Vetchinin, S.P. About mobility of large klasters [Text] / S.P. Vetchinin, I.G. Yakubov // Journal of theoretical physics. - 1976. - №10. - Pp. 2162-2167 [in Russian].
- [7] Kornienko, V., Smirnov, V. A quantitative model of aerosol generation in the radiolysis of air [Text] / V. Kornienko, V. Smirnov // Proceeding of the Institute of Experimental Meteorology - 1989. - Issue 48(138) - Pp. 71-78 [in Russian].
- [8] The effect of wire heating and configuration on ozone emission in a negative ion generator [Text] / L. Liu [et al.] // Journal of Electrostatics. - 2000. - Vol. 48. - Pp. 81-91.

[9] Rehbein, N. Nox production in spark and corona discharges [Text] / N. Rehbein, V. Cooray // Journal of Electrostatics. - 2001. - Vol. 51-52. - Pp. 333-339.

[10] An analysis of the evolution of negative ions produced by a corona ionizer in air [Text] / K. Nagato [et al.] // International Journal of Mass Spectrometry. - 2006. - Vol. 248. - Pp. 142-147.

Konstantin Anatolevich Chernyi

Can. Engineering Sc.,

Head of Innovative Development and Metrology Department

State National Research Polytechnic University of Perm, Russia

Associate Prof.

Phone: (342) 219-80-49

E-mail: sms@pstu.ru

ФОРМИРОВАНИЕ МОДЕЛИ ОЦЕНИВАНИЯ УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ СПЕЦИАЛИСТА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

В статье описывается ряд моделей оценивания уровня сформированности компетенций молодого специалиста в рамках реализации федерального государственного образовательного стандарта нового поколения для специальностей технического профиля.

Ключевые слова: специалист, компетенция, федеральный государственный образовательный стандарт.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Переход на ФГОС нового поколения актуализировал проблему создания модели оценивания, которая требует реализации схемы: ОЦЕНКА УСВОЕНИЯ СИСТЕМЫ ДИДАКТИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ → ОЦЕНКА УСВОЕНИЯ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН → ОЦЕНКА УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИИ → ОЦЕНКА УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ СОЦИАЛЬНО-ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ СПЕЦИАЛИСТА [1, 2]. Такая модель основывается на формализации информационных пространств, определенных федеральными государственными образовательными стандартами нового поколения, путем построения аксиоматического базиса квалиметрической многомерной модели социально-профессиональной компетентности специалиста [3].

Особую значимость эта проблема приобретает в связи с массовым переходом на формирование корпоративных систем менеджмента качества, в рамках которых предусматривается деятельность в рамках процессов по измерению, анализу и улучшению («Мониторинг, измерение и анализ процессов», «Управление несоответствиями» и «Улучшение процессов посредством политики, целей, а также корректирующих и предупреждающих действий»). Эта деятельность затрагивает все процессы внутривузовских СМК, в том числе и процессы «Проектирование и разработка образовательных программ» и «Реализация основных образовательных программ».

АКТУАЛЬНОСТЬ И НОВИЗНА

Пусть p -ый объект обладает множеством знаний, полученных в результате освоения системы дидактических единиц D_i , $i = \overline{1:n}$, и отображается в n -мерном информационном пространстве N точкой $N_p(q_{p1}; q_{p2}; \dots; q_{pr}; \dots; q_{pn})$.

Для каждой дидактической единицы D_i , $i = \overline{1:n}$, в рамках основной образовательной программы (ООП) направления подготовки специалистов устанавливается значение $q_i^{\min}$, называемое пороговым значением для дидактической единицы D_i , такое, что если p -ый объект имеет уровень усвоения q_{pi} дидактической единицы D_i и $q_{pi} < q_i^{\min}$, то дидактическая единица D_i считается не освоенной, и в этом случае принимают $q_{pi} = 0$.

Пусть совокупный уровень освоения учебной дисциплины A_j , $j = \overline{1:m}$, определяется подмножеством дидактических единиц $D_{jg} \subset \{D_i\}$, $i = \overline{1:n}$, $g = \overline{1:t}$ (рисунок 1). Каждая дидактическая единица D_{jg} имеет уровень значимости α_{jg} , $g = \overline{1:t}$, который показывает, в

какой степени дидактическая единица D_{jg} влияет на освоение той части m -мерного ($m \rightarrow \infty$) информационного пространства M , которая составляет совокупность знаний по учебной дисциплине A_j , $j = \overline{1:m}$.

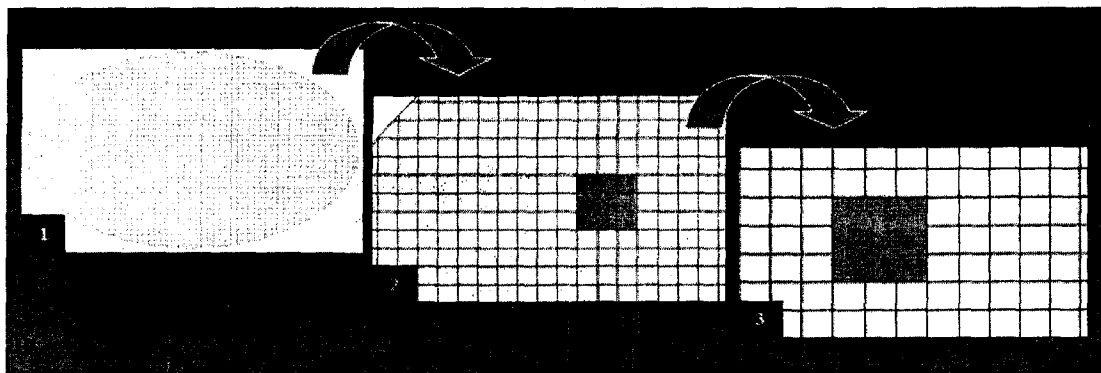


Рисунок 1 – Модель формирования m -мерного ($m \rightarrow \infty$) информационного пространства M множества учебных дисциплин A_j на базе n -мерного ($n \rightarrow \infty$) информационного пространства N множества дидактических единиц D_i (фрагмент 1)

Для каждой дидактической единицы D_{jg} , $g = \overline{1:t}$, входящей во множество $D_{jg} \subset \{D_i\}$, $i = \overline{1:n}$, $g = \overline{1:t}$ и определяющей уровень усвоения учебной дисциплины A_j , $j = \overline{1:m}$, уровень значимости α_{jg} , $g = \overline{1:t}$, обладает следующими свойствами: $0 \leq \alpha_{jg} \leq 1$ и $\sum_{g=1}^t \alpha_{jg} = 1$.

Если для каждого p -го объекта уровень освоения $q_{pjg} = 0$ хотя бы одной дидактической единицы D_{jg} , $g = \overline{1:t}$, входящей в совокупность дидактических единиц дисциплины A_j , $j = \overline{1:m}$, то целесообразно считать, что p -ый объект не владеет информационным подполем, определяющим совокупность всех знаний s_{pj} по учебной дисциплине A_j , $j = \overline{1:m}$, поэтому целесообразно считать $S_{pj} = 0$.

Кроме того, совокупный уровень знаний по учебной дисциплине A_j , $j = \overline{1:m}$ при отсутствии значений $q_{pjg} = 0$, может определяться несколькими способами:

- по уровню достижения максимального значения среди всех имеющихся уровней освоения дидактических единиц $D_{jg} \subset \{D_i\}$, $i = \overline{1:n}$, $g = \overline{1:t}$ и определяющих уровень усвоения учебной дисциплины A_j , $j = \overline{1:m}$, т.е.:

$$S_{pj} = \max \{q_{pjg}; \quad g = \overline{1:t}\} \quad (1)$$

- по уровню достижения минимального значения среди всех имеющихся уровней освоения дидактических единиц $D_{jg} \subset \{D_i\}$, $i = \overline{1:n}$, $g = \overline{1:t}$ и определяющих уровень усвоения учебной дисциплины A_j , $j = \overline{1:m}$, т.е.:

$$S_{pj} = \min \{q_{pjg}; \quad g = \overline{1:t}\} \quad (2)$$

по уровню достижения среднего значения среди всех имеющихся уровней освоения дидактических единиц $D_{jg} \in \{D_i\}, i = \overline{1:n}, g = \overline{1:t}$ и определяющих уровень усвоения учебной дисциплины $A_j, j = \overline{1:m}$, и рассчитываемый по формуле средней арифметической взвешенной, т.е.:

$$S_{pj} = \frac{\sum_{g=1}^t \alpha_{jg} \cdot q_{pjg}}{t} \quad (3)$$

Рассмотрим ситуацию, когда совокупный уровень знаний по учебной дисциплине $A_j, j = \overline{1:m}$ при отсутствии значений $q_{pjg} = 0$ определяется по формуле (3). Тогда общий подход к расчету совокупный уровень знаний по учебной дисциплине $A_j, j = \overline{1:m}$ определяется формулой:

$$S_{pj} = \begin{cases} 0, & \text{если } q_{pjg} = 0, \text{ хотя бы при одном значении } q = \overline{1:t}; \\ \frac{\sum_{g=1}^t \alpha_{jg} \cdot q_{pjg}}{t}, & \text{если } q_{pjg} \neq 0, \text{ при любом значении } q = \overline{1:t}; \end{cases} \quad (4)$$

Таким образом, решается проблема установления количественной зависимости между количеством знаний S_j по учебной дисциплине $A_j, j = \overline{1:m}$ от значений всех координат $q_i, i = \overline{1:n}$ точки N_i информационного пространства N , устанавливаемой в виде

$$S_j = f(q_1; q_2; \dots; q_i; \dots; q_n).$$

В рамках ООП по направлению подготовки специалистов разрабатывается компетентностная модель выпускника, которая определяется матрицей соответствия составных частей ООП (реализуемых учебных дисциплин) и системы компетенций, формируемых в рамках освоения ООП. Если совокупность дидактических единиц $D_{jg}, g = \overline{1:t}$, определяет уровень усвоения учебной дисциплины $A_j, j = \overline{1:m}$, то каждая компетенция $B_k, k = \overline{1:l}$, формируется как интегративное информационное подпространство, на которое оказывают воздействие несколько учебных дисциплин, причем каждая учебная дисциплина оказывает различный уровень воздействия. Этот процесс можно условно интерпретировать с помощью модели, представленной на рисунке 2.

Пусть матрица соответствия устанавливает, что компетенция $B_k, k = \overline{1:l}$, формируется при реализации подмножества образовательных курсов учебных дисциплин. Принципиально важным является тот факт, что любая дисциплина A_j оказывает различное влияние на каждую компетенцию B_k , в формировании которой она участвует. Таким образом, становится актуальным определение системы коэффициентов β_{jk} , которые характеризуют уровень влияния учебной дисциплины A_j при формировании компетенции B_k специалиста, причем целесообразно использовать такие значения β_{jk} , что $0 \leq \beta_{jk} \leq 1$ и $\sum_{k=1}^l \beta_{jk} = 1$.

Если для p -го объекта уровень освоения учебной дисциплины A_j , характеризуемый величиной S_{pj} , принимает значение 0, т.е. $S_{pj} = 0$, то вся совокупность $B_k, k = \overline{1:l}$, на формирование которых оказывает влияние учебная дисциплина A_j , считается не сформированным, а уровень подготовки специалиста в рамках ООП – неудовлетворительным.

Кроме того, для каждой компетенции B_k , $k = \overline{1:l}$, в соответствии с ООП устанавливается несколько уровней сформированности:

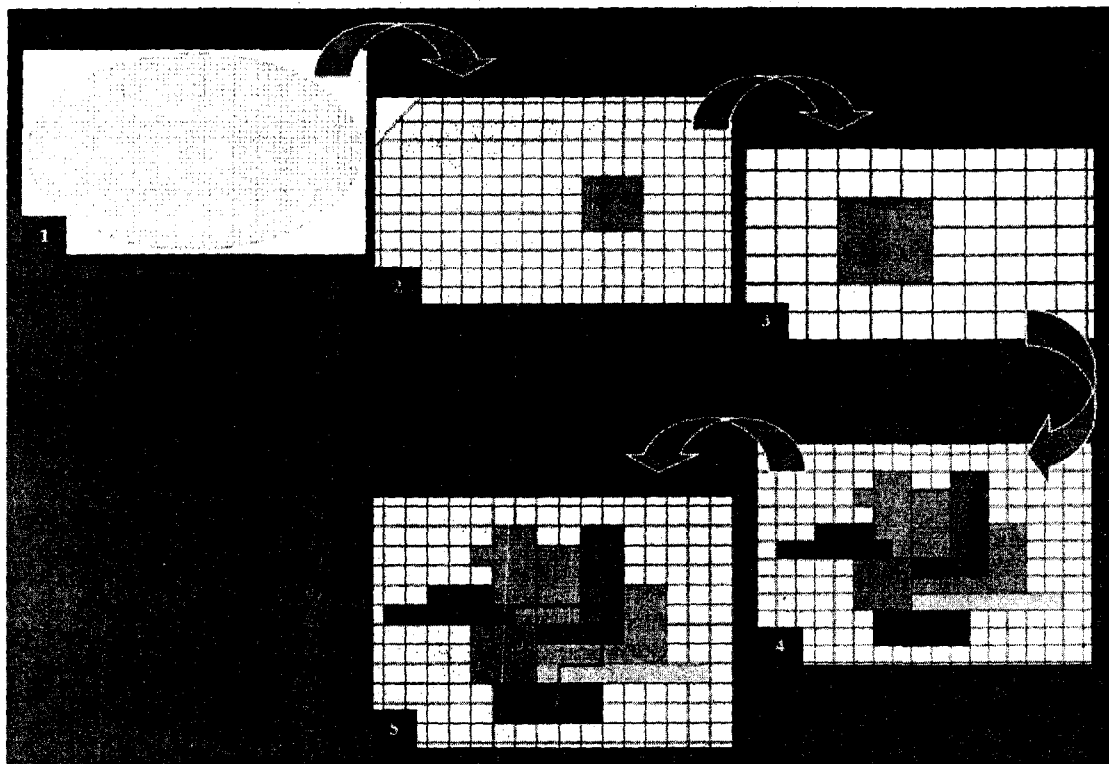


Рисунок 2 – Модель формирования подпространства компетенции B_k , $k = \overline{1:l}$, специалиста на основе подмножества нескольких учебных дисциплин A_j , формируемых на базе информационных пространства множества дидактических единиц D_i (фрагмент 2)

- $H_k^{\min}$ - пороговый уровень; характеризует такой уровень сформированности компетенции B_k выпускника, который устанавливает ее минимальное соответствие требованиям ООП по подготовке выпускника к профессиональной деятельности;
- H_k^v - продвинутый уровень; характеризует такой уровень сформированности компетенции B_k выпускника, который констатирует наличие у него устойчивых навыков выполнения требований ООП по подготовке выпускника к профессиональной деятельности;
- H_k^w - высокий уровень; характеризует такой уровень сформированности компетенции B_k выпускника, который показывает наличие высокого уровня знаний теоретико-методологических подходов к решению профессиональных задач, а также практического опыта профессиональной деятельности по профилю ООП.

Значения параметров $H_k^{\min}$, H_k^v и H_k^w определяются вузами самостоятельно в рамках утвержденных ООП. Кроме того, для ряда компетенций ООП устанавливает только значения порогового и высокого уровней.

В этой связи, для p -го объекта, освоившего с уровнем S_{pj} учебную дисциплину A_j , долевой уровень влияния на формирование компетенции B_k составляет $\beta_{jk} \cdot S_{pj}$.

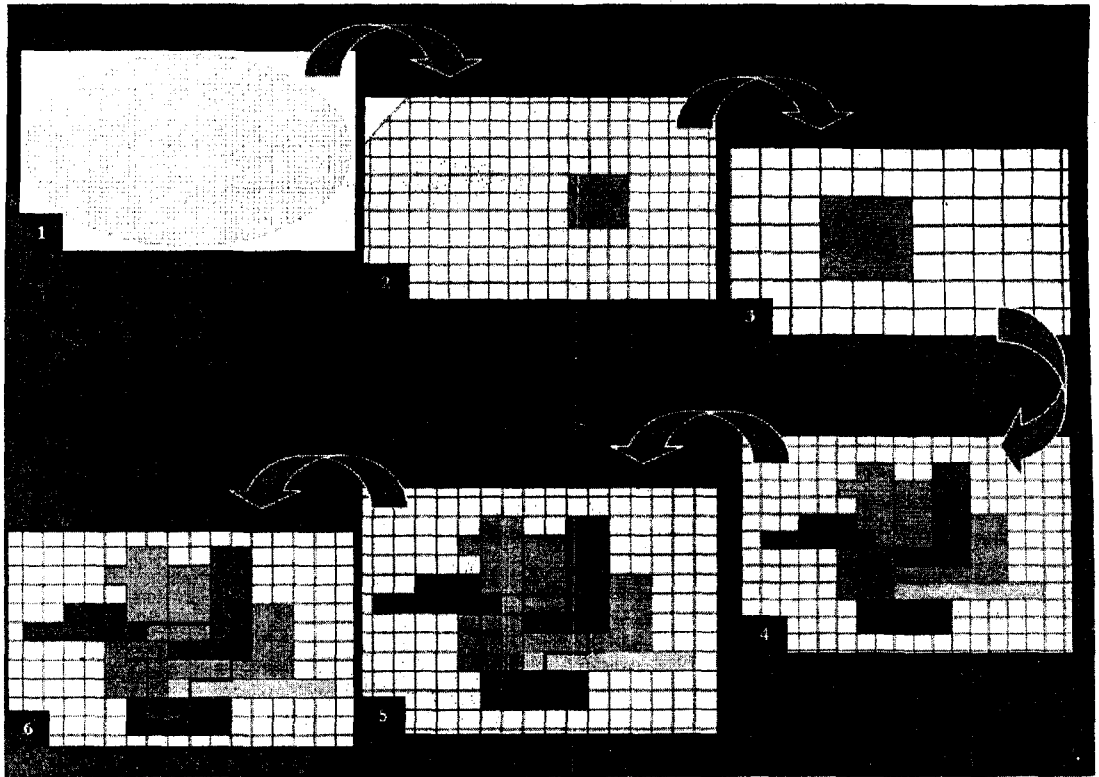


Рисунок 3 – Модель формирования компетенции специалиста B_k посредством долевого влияния уровней освоения подмножества учебных дисциплин A_j ООП, формируемых на базе информационных пространств подмножества дидактических единиц D_i (фрагмент 3)

Если в формировании компетенции B_k участвует подмножество учебных дисциплин $A_{j'}$, $j' = \overline{1:m'}$, то для p -го объекта уровень сформированности H_{pk} компетенции B_k можно охарактеризовать несколькими способами:

- по уровню достижения максимального значения среди всех имеющихся уровней освоения учебных дисциплин $A_{j'} \subset \{A_j\}$, $j = \overline{1:m}$, $j' = \overline{1:m'}$ и оказывающих влияние на уровень сформированности компетенции B_k , $k = \overline{1:l}$, т.е.:

$$H_{pk} = \max\{S_{pj'k}; j' = \overline{1:m'}\} \quad (5)$$

- по уровню достижения минимального значения среди всех имеющихся уровней освоения учебных дисциплин $A_{j'} \subset \{A_j\}$, $j = \overline{1:m}$, $j' = \overline{1:m'}$ и оказывающих влияние на уровень сформированности компетенции B_k , $k = \overline{1:l}$, т.е.:

$$H_{pk} = \min\{S_{pj'k}; j' = \overline{1:m'}\} \quad (6)$$

- по уровню достижения среднего значения среди всех имеющихся уровней освоения учебных дисциплин $A_{j'} \subset \{A_j\}$, $j = \overline{1:m}$, $j' = \overline{1:m'}$ и оказывающих влияние на уровень сформированности компетенции B_k , $k = \overline{1:l}$, и рассчитываемый по формуле средней арифметической взвешенной, т.е.:

$$H_{pk} = \frac{\sum_{j=1}^{m'} \beta_{j'k} \cdot S_{pj'k}}{m'} \quad (7)$$

Если учесть, что для величины H_{pk} устанавливаются пороговый уровень $H_k^{\min}$, продвинутый уровень H_k^v и высокий уровень H_k^w , то можно ввести условный ранг уровневой компетентностной классификации c_{pk} в виде:

$$c_{pk} = \begin{cases} 0, & \text{если } 0 \leq H_{pk} < H_k^{\min}; \\ 1, & \text{если } H_k^{\min} \leq H_{pk} < H_k^v; \\ 2, & \text{если } H_k^v \leq H_{pk} < H_k^w; \\ 3, & \text{если } H_k^w \leq H_{pk} \leq 1; \end{cases} \quad (8)$$

Условный ранг уровневой компетентностной классификации c_{pk} может использоваться при автоматизации процесса оценивания компетентности специалиста при формировании символьной переменной C_{pk} , описывающей уровень сформированности. В этом случае в соответствии с ООП используют следующую уровневую интерпретацию:

если $c_{pk} = 0$, то $C_{pk} :=$ "компетенция B_k отсутствует";

если $c_{pk} = 1$, то $C_{pk} :=$ "специалист имеет низкий уровень сформированности компетенции B_k ";

если $c_{pk} = 2$, то $C_{pk} :=$ "специалист имеет средний уровень сформированности компетенции B_k ";

если $c_{pk} = 3$, то $C_{pk} :=$ "специалист имеет высокий уровень сформированности компетенции B_k ".

В этой связи, имея числовую характеристику H_{pk} уровня сформированности компетенции B_k , а также значения порогового $H_k^{\min}$, продвинутого H_k^v и высокого H_k^w уровней ее сформированности, можно составить геометрическую интерпретацию, представленную на рисунке 4, которая имеет вид линейной модели.



Рисунок 4 – Линейная модель оценки уровня сформированности компетенции B_k :

H_{p1k} - объект P_1 не компетентен в рамках рассматриваемой ООП;

H_{p2k} - объект P_2 имеет низкий уровень сформированности компетенции B_k ;

H_{p3k} - объект P_3 имеет средний уровень сформированности компетенции B_k ;

H_{p4k} - объект P_4 имеет высокий уровень сформированности компетенции B_k .

ВЫВОД

Предложенная модель позволяет формализовать описание первого этапа реализации общей схемы: ОЦЕНКА УСВОЕНИЯ СИСТЕМЫ ДИДАКТИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ → ОЦЕНКА УСВОЕНИЯ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН → ОЦЕНКА УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ и рассматривается как компонент теоретико-методологического обеспечения процедуры оценивания социально-профессиональной конкурентоспособности молодых специалистов на рынке труда с применением автоматизированной системы «Кадровая квалиметрия специалиста» [4].

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XV международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии - ТЕХНОЛОГИЯ-2012» (г. Орел, Госуниверситет - УНПК, 5 - 8 июня 2012 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозова, А.В. Квалиметрическая оценка уровня социально-профессиональной конкурентоспособности выпускников на региональном рынке труда [Текст] / А.В. Морозова // Известия ОрелГТУ. Серия Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2007. – № 1/265(531). – С. 147-155.
2. Морозова, А.В. Мультипликативная модель конкурентных преимуществ специалиста машиностроительного профиля [Текст] / А.В. Морозова // Известия ОрелГТУ. Серия Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии – 2008. – № 2. – С. 62-66.
3. Киричек, А.В. Аксиоматический базис квалиметрической многомерной модели социально-профессиональной компетентности молодого специалиста [Текст] / А.В. Киричек, А.В. Морозова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Том 13. – 2011. – № 4(4). – С. 1232-1235.
4. Морозова, А.В. Методологические основы формирования модели квалиметрического оценивания компетенций специалиста для машиностроительного производства // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2012. – № 1(291). – С.69-81.

Андрей Викторович Киричек
Госуниверситет - УНПК, г Орел
доктор технических наук, профессор,
Директор ТИ Госуниверситет - УНПК
Тел./ fax (4862)555524
E-mail: avk@ostu.ru

Анна Валентиновна Морозова
Кандидат социологических наук
Заместитель директора по НИР
ТИ Госуниверситет - УНПК
Тел.: (4862) 555524
E-mail: notiostu@gmail.com

A.V. KIRICHEK, A.V.MOROZOVA

THE MACHINE-BUILDING PROFILE SPECIALISTS COMPETENCE FORMEDNESS LEVEL ESTIMATION MODEL FORMATION

In the article a number of a young expert competence formedness level estimation models is described within the limits of the new generation federal state educational standard for a technical cross-section specialties realization.

Keywords: the specialist, the competence, the federal state educational standard.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Morozova, A.V. A graduates socially-professional competitiveness level qualimetry estimation on a regional labour market [Text] / A.V.Morozova // Izvestija OrelSTU. A series Fundamental and applied problems of technics and technology. – 2007. – № 1/265 (531). – Pp. 147-155.
- [2] Morozova, A.V. The machine-building cross-section specialists competitive advantages multiply model [Text] / A.V.Morozova // Izvestija OrelSTU. A series Fundamental and applied problems of technics and technology – 2008. – № 2. – Pp. 62-66.
- [3] Kirichek, A.V. The young expert socially-professional competence qualimetry multidimensional model axiomatic basis [Text] / A.V.Kirichek, A.V.Morozova // News of the Samara center of science of the Russian Academy of Sciences. Volume 13. – 2011. – № 4 (4). – Pp. 1232-1235.
- [4] Morozova, A.V. The specialists in machine-building manufacture competence estimations qualimetry model formation methodological basis // Fundamental and applied problems of technics and technology. – 2012. – № 1 (291). – Pp.69-81.

Andrey Viktorovich Kirichek
Doc. Sc. tech., Prof.
Federal State Budget Educational Institution of Higher Vocational Training "State University – Educational Scientific Production Complex", Orel
Phone:(4862) 55-55-24
E-mail: ti@ostu.ru

Anna Valentinovna Morozova
Can.Sc. soc.,
Deputy Director of the Institute for scientific research works
Polikarpov Technological Institute
FSBEI HVT «State University – ESPC»
Tel.: (4862) 555524
E-mail: notiostu@gmail.com

Адрес учредителя

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. (4862) 42-00-24
Факс (4862) 41-66-84
www.gu-unpk.ru
E-mail: unpk@ostu.ru

Адрес редакции

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
(4862) 41-98-48, 55-55-24, 41-98-03, 43-48-90
www.gu-unpk.ru
E-mail: met_lit@ostu.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор
Алисова М.В., Тарасов Д.Е.
Компьютерная верстка
Алисов А.А.

Подписано в печать 27.02.2012 г.
Формат 60х88 1/8. Усл. печ. л. 8,625

Тираж 600 экз.

Заказ № 170/12 П1

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической базе
ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.