

**ИЗВЕСТИЯ КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**PROCEEDINGS OF THE
KABARDINO-BALKARIAN
STATE UNIVERSITY**

TOM V, № 5, 2015

Учредитель: Кабардино-Балкарский государственный
университет им. Х.М. Бербекова (КБГУ)

Главный редактор **Б.С. КАРАМУРЗОВ**
Первый зам. главного редактора **А.П. САВИНЦЕВ**
Зам. главного редактора **С.К. БАШИЕВА**
Зам. главного редактора **Х.Б. ХОКОНОВ**
Зам. главного редактора **А.А. ШЕБЗУХОВ**
Зам. главного редактора **Г.Б. ШУСТОВ**
Зам. главного редактора **М.М. ЯХУТЛОВ**
Ответственный секретарь **М.Ч. ШОГЕНОВА**

Редакционная коллегия

Волков Ю.Г., Гукешоков М.Х., Гуфан Ю.М., Дзамихов К.Ф., Карлик А.Е., Кетенчиев Х.А., Кочесокон Р.Х.,
Матузов Н.И., Мизиев И.А., Муратова Е.Г., Мустафаева З.А., Радченко В.П., Радченко О.А., Рубаков В.А.,
Фельдштейн Д.И., Фортов В.Е., Хавинсон В.Ц., Хохлов А.Р., Хуснутдинова Э.К., Шхануков-Лафисhev М.Х.

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-44485 от 31.03.2011 г.

Подписной индекс в Каталоге «Пресса России» 43720.

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций.

Доступ к рефератам статей журнала осуществляется на сайте научной электронной библиотеки «eLIBRARY.RU» (<http://elibrary.ru>).

ISSN 2221-7789

Адрес редакции: Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова
360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173

Телефоны: (88662) 722313

E-mail: rio@kbsu.ru, <http://izvestia.kbsu.ru>

© Авторы, 2015

© Кабардино-Балкарский государственный
университет им. Х.М. Бербекова, 2015

Founder: Kabardino-Balkarian State University (KBSU)

Editor in chief **B.S. KARAMURZOV**
The 1st Deputy Editor **A.P. SAVINTSEV**
Deputy Editor **S.K. BASHIEVA**
Deputy Editor **H.B. KHOKONOV**
Deputy Editor **A.A. SHEBZUHOV**
Deputy Editor **G.B. SHUSTOV**
Deputy Editor **M.M. YAHUTLOV**
Executive sekretary **M.Ch. SHOGENOVA**

Editorial board

Volkov Yu.G., Gukeshokov M.Kh., Gufan Yu.M., Dзамikhov K.F., Karlik A.E., Ketenchiev Kh.A., Kochesokov R.Kh.,
Matuzov N.I., Miziev I.A., Muratova E.G., Mustafaeva Z.A., Radchenko O.A., Radchenko V.P., Rubakov V.A.,
Feldshtein D.I., Fortov V.E., Khavinson V.Ts., Hohlov A.R., Khusnutdinova E.K., Shkhanukov-Lafishev M.Kh.

Registration certificate PI № FS 77-44485 from 31.03.2011

Subscription index in the catalog «Russian Press» 43720

Access to abstracts of articles of the magazine is carried out on the Scientific Electronic Library Online «eLIBRARY.RU» (<http://elibrary.ru>).

ISSN 2221-7789

Editorial address: Kabardino-Balkarian State University, 360004, Nalchik, Chernyshevsky st., 173

Phone number: (88662)722313

E-mail: rio@kbsu.ru, <http://izvestia.kbsu.ru>

© Authors, 2015

© Kabardino-Balkarian State University, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Шептунов С.А., Логвин В.А. Возможности и условия использования тлеющего разряда для создания автоматизированной технологической среды по упрочнению инструментов	5
Верещака А.С., Дачева А.В., Аникеев А.И. Повышение эффективности резания труднообрабатываемых материалов путем применения инструмента, оснащенного пластинами из твердого сплава оптимального состава с наноструктурированным износостойким покрытием	11
Верещака А.А., Верещака А.С., Бубликов Ю.И., Аксененко А.Ю., Ситников Н.Н. Сравнительный анализ и оценка свойств наноструктурированных многослойно-композиционных покрытий Ti-TiN-(TiCrAl)N и Zr-ZrN-(ZrNbCrAl)N	16
Верещака А.А. Оборудование и технологии процесса ассистируемого фильтруемого вакуумно-дугового осаждения	20
Глибеков А.Х., Яхутлов М.М. Выбор оборудования для изготовления деталей из листа и расчет его оптимального количества	24
Сабиров Ф.С., Кочинев Н.А., Шемякин С.С. Влияние технологической оснастки на динамические характеристики шпиндельного узла	30
Аверченков А.В., Леонов Е.А. Поиск конструкторско-технологической документации в сети Интернет с использованием семантической классификации изображений	34
Евдокимов С.А., Рыбаков А.В., Краснов А.А., Шурпо А.Н. Формализация знаний в машиностроении с использованием блоков принятия решений	39
Николушкин А.Ю., Рыбаков А.В. Архитектура многоагентной системы управления распределения энергопотоков	47
Антонов Д.В., Шурпо А.Н. Сетевая безопасность в среде виртуализации. Контроль и изоляция сетевого трафика между виртуальными машинами на одном физическом сервере	52
Козочкин М.П., Алленов Д.Г. Сравнительный анализ экспериментальной и расчетной методик оценки деформаций поверхностного слоя деталей при резании	54
Куликов М.Ю., Иноземцев В.Е., Бочаров А.А. Исследование качества поверхности при фрезеровании алюминия комплексными методами	59
Куликов М.Ю., Ягодкин М.В. Исследования надёжности процесса резьбонарезания в отверстиях сверхмалого диаметра	61
Хапачев Б.С., Иванова Д.М. Определение контактной температуры при использовании инструментов из сверхтвердых материалов	63
Яхутлов М.М., Батыров У.Д., Глибеков А.Х., Карданова М.Р., Готов А.А., Деунев З.Н. Моделирование напряженно-деформированного состояния алмазного инструмента при действии сил резания	66
Карданова М.Р. Нелинейная математическая модель нестационарного температурного поля структуры алмазного инструмента	71
Ошхунов М.М., Кумыков В.К., Хатукаев Х.М., Нахушева Ф.М., Джанкулаева М.А. Моделирование перехвата движущейся по баллистической траектории цели	75
Батыров У.Д., Атаев П.Л., Карданов Т.Х., Токов А.З. Некоторые аспекты воплощения принципов ресурсосбережения в конструкциях узлов измельчителей пищевых продуктов	77
Грибов А.И., Шептунов С.А. Технология и методология решения острых социально значимых проблем на примере проекта «Нанотермотерапия»	80
Воробьев И.В., Михайлова М.В., Бекмешов А.Ю., Запольская А.Н. Электронные каналы распространения научной информации: преимущества и недостатки телевидения и интернета	83
Романова Е.Ю., Карлова Т.В. Анализ понятия «информационное общество» в современном контексте ...	90
Запольская А.Н., Михайлова М.В. Социодинамический подход к инфокоммуникациям	93
Шошина К.В., Гурьев А.Т., Карлова Т.В. Создание методики определения доступности лесных ресурсов	96
Гурьев А.Т., Шошина К.В., Бекмешев А.Ю. Анализ жизненного цикла лесных дорог	100
Эльбаев Р.А., Колмыков В.И., Эльбаева Р.И. Влияние технологических режимов на качество биметаллических подшипников скольжения	103
Дудник А.Е., Никора Н.И., Чепурненко А.С., Языев С.Б. Устойчивость полимерного стержня при ползучести с учетом дискретного спектра времен релаксации полимера	106
Требования к оформлению научной статьи, представляемой в журнал «Известия Кабардино-Балкарского государственного университета»	109

CONTENTS

ENGINEERING SCIENCES

Sheptunov S.A., Logvin V.A. Opportunities and conditions for the use of the glow discharge for create an automated technology environment of strengthening instruments	5
Vereshchaka A.S., Dacheva A.V., Anikeev A.I. Improving the efficiency of cutting hardworked materials through the using of tools, equipped by hard metal plates of optimal composition with nano-structured wear-resistant coatings	11
Vereschaka A.A., Vereschaka A.S., Bublikov J.I., Aksenenko A.Y., Sitnikov N.N. Comparative analysis and evaluation of properties of nano-structured multilayer composite coatings Ti-TiN- (TiCrAl) N and Zr-ZrN-(ZrNbCrAl)N	16
Vereshaka A.A. Equipment and technology of assisted filterable vacuum arc deposition	20
Tlibekov A.Kh., Yakhutlov M.M. Selection of equipment for manufacturing details from the worksheet and calculation of its optimal number	24
Sabirov F.S., Kochinev N.A., Shemiakin S.S. The effect of machining attachments on the dynamics of spindle unit	30
Averchenkov A.V., Leonov E.A. Search design and technological documentation in Internet network with using semantic classification of images	34
Evdokimov S.A., Rybakov A.V., Krasnov A.A., Shurpo A.N. Formalization of knowledge in engineering with using of decision-making blocks	39
Nikolushkin A.Y., Rybakov A.V., Shurpo A.N. The architecture of multi-agent system for controlling the distribution of energy flows	47
Antonov D.V., Sherpo A.N. Network security in a virtualization environment, the control and isolation of network traffic between virtual machines on the same physical server	52
Kozochkin M.P., Allenov D.G. Comparative analysis of experimental and computational methodologies to assess the deformation of the surface layer of parts in cutting	54
Kulikov M.Yu., Inozemtsev V.E., Bocharov A.A. The researching of surface quality after milling aluminum by complex methods	59
Kulikov M.Y., Yagodkin M.V. Reliability for researches of tapping holes of ultra low diameter	61
Hapachev B.S., Ivanova D.M. Determination of contact temperature when using tools of super hard materials	63
Yakhutlov M.M., Batyrov U.D., Tlibekov A.KH., Kardanova M.R., Gutov A.A., Deunezhev Z.N. Modeling of the stress-strain state of the diamond tool under the action of cutting forces	66
Kardanova M.R. The nonlinear mathematical model of unsteady temperature fields of diamond tools	71
Oshkhunov M.M., Kumykov V.K., Hatukaev H.M., Nakhushева F.M., Dzhankulaeva M.A. Simulation of moving target interception	75
Batyrov U.D., Ataev P.L., Kardanov T.H., Tokov A.Z. Some aspects of implementation of the principles in the design of units resource economy food chopper	77
Gribov A.I., Sheptunov S.A. Technology and methodology for solutions of acute social problems on the example of the project «Nanotherapy»	80
Vorob'ev I.V., Karlova T.V., Bekmeshov A.Yu., Zapolskaya A.N. Electronic channels of distribution for scientific information: the advantages and disadvantages of television and the Internet	83
Romanova E.Y., Karlova T.V. An analysis of the concept «Information Society» in the modern context	90
Zapolskaya A.N., Mikhailova M.V. Sociodynamic approach for infocommunications	93
Shoshina K.V., Guriev A.T., Karlova T.V. Creating a methodology for determining the availability of forest resources	96
Guriev A.T., Shoshina K.V., Bekmeshov A.Yu. The life cycle analysis of forest roads	100
Elbaev R.A., Kolmykov V.I., Elbaeva R.I. The influence of technological modes on the quality of bimetallic bearings	103
Dudnik A.E., Nikora N.I., Chepurnenko A.S., Yziev C.B. The stability of the polymer rod during creep taking into account the discrete spectrum of relaxation times of the polymer	106
The demand to the design of the scientific article, represented in the journal «Proceeding of the Kabardino-Balkarian State University»	109

**ВОЗМОЖНОСТИ И УСЛОВИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА ДЛЯ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПО УПРОЧНЕНИЮ ИНСТРУМЕНТОВ**

***Шептунов С.А., Логвин В.А.**

***ship@ikti.org.ru**

ИКТИ РАН

Авторами представлены результаты анализа возможностей и условий использования обработки в тлеющем разряде для создания автоматизированной технологической среды по упрочнению инструментов. Выявляются преимущества и недостатки тлеющего разряда на всем диапазоне его формирования при изменении основных технологических параметров. Анализ базируется на собственных исследованиях и результатах, полученных другими учеными. В работе показано, что только комплексная автоматизация всех процессов, связанных с обработкой в тлеющем разряде, позволяет обеспечивать стабильную воспроизводимость результатов, а это является необходимым условием создания автоматизированной технологической среды по упрочнению режущих инструментов.

Ключевые слова: плазма, тлеющий разряд, автоматизация, технологическая среда, наноструктура.

**OPPORTUNITIES AND CONDITIONS FOR THE USE
OF THE GLOW DISCHARGE FOR CREATE AN AUTOMATED TECHNOLOGY
ENVIRONMENT OF STRENGTHENING INSTRUMENTS**

Sheptunov S.A., Logvin V.A.

IDTI RAS

A group of authors present the results of the analysis of the opportunities and conditions of the use treatment into glow discharge for create an automated technology environment of strengthening instruments. Identified the advantages and disadvantages of a glow discharge on the whole interval of its formation when changing the basic technological parameters. The analysis is based on its own researches and developments by other scientists. It is shown that only the integrated automation of all processes associated with the processing of glow discharge ensures stable reproducibility of the results, and this is a necessary condition for the creation of automated technology environment for hardening of cutting tools.

Keywords: plasma, glow discharge, automation, technological environment, nanostructure.

Одним из перспективных направлений исследования, направленного на разработку и создание эффективных способов изменения физико-механических свойств материалов различных изделий является формирование в их поверхностном слое наноструктур в тлеющем разряде [1–4]. Энергия заряженных частиц движущихся в межэлектродном пространстве, в тлеющем разряде не превышает энергию, необходимую для активного образования в металлах точечных дефектов. Потенциальная энергия взаимодействия структурных элементов в кристаллических решетках создает условия для возникновения нелинейных эффектов, что способствует успешному структурированию поверхностных слоев материалов.

Важное значение приобретает определение нелинейных характеристик обрабатываемых материалов, используя которые, можно путем дозированного воздействия вызвать процессы перестройки систем с образованием новых долгоживущих структур. Структуры данного типа могут быть пространственными, временными или пространственно-временными. Способность открытых систем создавать автономные временные и пространственно-временные структуры при наличии внешнего потока энергии рассматривается как самоорганизация систем [5].

Весь интервал энергий ускоряемых частиц условно разделён на три интервала: низкоэнергетическую, среднеэнергетическую и высокоэнергетическую ионную обработку. К низкоэнергетической ионной обработке относятся технологии и установки, позволяющие формировать частицы с энергией до 10 кэВ, и доминирующим в них оказываются упругие столкновения ионов с атомами твердого тела – это в основном источники газовых ионов.

К среднеэнергетической ионной обработке относятся воздействия со средней энергией частиц $10\text{--}10^3$ кэВ с преобладающими упругими столкновениями, легирующий поверхностный слой не более десятых долей микрометра с увеличением температуры образца-мишени не более 100 °С. К высокоэнергетической ионной обработке относят обработку частицами, энергия которых превышает 10^3 кэВ. При этом меняются пространственное распределение внедренных атомов, радиационные дефекты и соотношение дефектов различного типа, присутствуют новые эффекты взаимодействия частиц с атомами, меняется соотношение между вкладами электронного и ядерного торможения, образуются дефекты строения в виде скрытых треков, относительно большая глубина проникновения бомбардирующих частиц до 100 мкм [2].

Проектирование технологических процессов для автоматизированной технологической среды на основе использования тлеющего разряда, относящегося к низкоэнергетической обработке, требует более полного понимания физических процессов, происходящих в разряде и особенно в приэлектродных областях.

Прохождение электрического тока через газовую технологическую среду сопровождается изменением её состояния. Многообразие условий, определяющих исходное состояние технологической газовой среды (состав, давление и т.д.), внешних воздействий на неё, материалов, форм и расположения электродов, конфигураций светящейся плазмы, возникающей в электрическом поле и т.п. приводит к тому, что существует множество видов электрических разрядов в газах, причём их законы сложнее, чем законы прохождения электрического тока в металлах и электролитах.

Электрические разряды в газах подчиняются закону Ома лишь при очень малой приложенной извне разности потенциалов, поэтому их электрические свойства описывают с помощью вольт-амперных характеристик (рис. 1) [6]. Газовые технологические среды становятся электропроводными в результате их ионизации. Если электрический разряд в газовой среде происходит только при вызывающем и поддерживающем ионизацию внешнем воздействии (при действии так называемых внешних ионизаторов), его называют несамостоятельным разрядом. Электрический разряд в газах, продолжающийся и после прекращения действия внешнего ионизатора, называется самостоятельным разрядом.

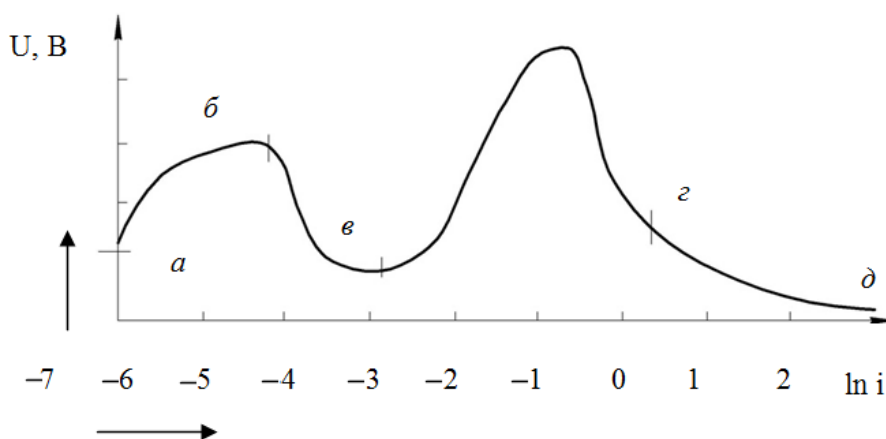


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика разряда: аб — несамостоятельного лавинного; бв — тлеющего нормального, вг — тлеющего аномального, гд — дугового (I, A)

Переход несамостоятельного электрического разряда в газовой среде в самостоятельный характеризуется резким усилением электрического тока, точка $б$ и называется электрическим пробоем. Соответствующее напряжение U_3 называется напряжением зажигания. В случае однородного поля оно зависит от состава газовой среды и от произведения давления p на расстояние между электродами L . Разряд после электрического пробоя принимает форму тлеющего разряда, если давление менее 133,32 Па.

При более высоком давлении, например, при атмосферном лавинное усиление электрического разряда в газовой среде приводит к возникновению пространственного заряда, что меняет характер процесса пробоя. Между электродами образуется один или несколько узких проводящих, заполненных плазмой каналов, которые называются стримерами. Время образования стримеров очень мало $\sim 10^{-7}$ с. После короткого переходного процесса самостоятельный газовый разряд становится стационарным. Обычно такой разряд осуществляют в закрытой изолированной камере. Ток в газовой среде течёт между двумя электродами: отрицательным катодом и положительным анодом.

Одним из основных типов газового разряда, формирующихся, как правило, при низком давлении и малом токе (участок $в$, рис. 1), является тлеющий разряд. Главные четыре области разрядного пространства, характерные для тлеющего разряда, это: катодное тёмное пространство, тлеющее или отрицательное свечение, фарадеево тёмное пространство, положительный столб. Первые три области находятся вблизи катода и образуют катодную часть разряда, в которой происходит резкое падение потенциала (катодное падение), связанное с большой концентрацией положительных ионов на границе катодного тёмного пространства и тлеющего свечения.

Электроны, ускоренные в области катодного тёмного пространства, производят в области тлеющего свечения интенсивную ударную ионизацию. Тлеющее свечение обусловлено рекомбинацией ионов и электронов в нейтральные атомы или молекулы. Для положительного столба разряда вследствие постоянной и большой концентрации электронов характерны незначительное падение потенциала в нём, свечение, вызываемое возвращением возбуждённых молекул, атомов газовой среды в основное состояние, и большая электропроводность.

Стационарность в положительном столбе объясняется взаимной компенсацией процессов образования и потерь заряженных частиц. Образование таких частиц происходит при ионизации атомов и молекул в результате столкновений с ними электронов. К потерям заряженных частиц приводит амбиполярная диффузия к стенке камеры, ограничивающей разрядный объём, и следующая за этим рекомбинация. Диффузионные потоки, направленные не к стенке, а вдоль разрядного тока, часто ведут к образованию в положительном столбе движущихся страт.

При увеличении разрядного тока нормальный тлеющий разряд становится аномальным (рис. 1) и начинается стягивание (контракция) положительного столба, плазма принимает сферическую форму у торца анода. Столб отрывается от стенок сосуда, в нём начинает происходить дополнительный процесс потери заряженных частиц или рекомбинация в объёме. Предпосылкой для этого является увеличение плотности заряженных частиц. При даль-

нейшем повышении разрядного тока, ток на катоде стягивается в катодное пятно, катодное падение потенциала резко снижается и тлеющий разряд скачком переходит в дуговой разряд. Электропроводность столба повышается, вольт-амперная характеристика приобретает падающий характер (точка 2, рис. 1).

Во всех случаях формирования самостоятельного электрического разряда в газовой среде особое значение имеют приэлектродные процессы, причём ситуация с катодом сложнее, чем с анодом. При тлеющем разряде непрерывная связь между катодом и положительным столбом обеспечивается за счёт высокого значения катодного падения потенциала. В самостоятельном дуговом разряде перенос тока в прикатодной области осуществляется за счёт термоэлектронной эмиссии или других более сложных механизмов.

Все электрические разряды в газовой среде происходят под действием, как правило, постоянного электрического напряжения. Однако тлеющий разряд может протекать и под действием переменного и импульсного электрического напряжения. Такой разряд имеет стационарный характер, если частота переменного напряжения достаточно высока или, наоборот, настолько низка, что полупериод перемены напряжения во много раз больше времени установления разряда, так что каждый электрод попеременно служит катодом и анодом. Типичным примером может служить высокочастотный тлеющий разряд.

Высокочастотный разряд может существовать даже при отсутствии электродов. Переменное электрическое поле создаёт в определенном объёме плазму и сообщает электронам энергию, достаточную для того, чтобы производимая ими ионизация восполняла потери заряженных частиц вследствие диффузии и рекомбинации. Внешний вид и характеристики высокочастотных тлеющих разрядов зависят от рода газовой среды, её давления, частоты переменного поля и подводимой мощности. Элементарные процессы на поверхности твердого тела металла или изолятора разрядной камеры играют определенную роль только в процессе возбуждения разряда. Столб стационарного высокочастотного разряда подобен положительному столбу тлеющего разряда на постоянном токе.

При электрических разрядах в газовой среде образуется низкотемпературная плазма, для которой характерна малая степень ионизации. В отличие от высокотемпературной полностью ионизованной плазмы в низкотемпературной плазме атомы и молекулы нейтрального газа играют важную роль. Электроны, ионы и нейтральные частицы легко взаимодействуют. Вследствие этого может возникнуть термодинамически неравновесная ситуация, при которой электроны, ионы и нейтральная газовая среда имеют разные температуры. Эта ситуация ещё более усложняется, если в балансе энергии электрического разряда в газовой среде нельзя пренебречь световым излучением. В таких случаях низкотемпературную плазму необходимо описывать с помощью кинетической теории плазмы [6].

Для металлических материалов заметные изменения их физических, химических и механических свойств наблюдаются при концентрациях внедренного в поверхностный слой при ионной обработке легирующего элемента от единиц до десятков атомных процентов. Для этого при низких энергиях частиц требуются высокие дозы облучения $10^{16} \dots 10^{18}$ ион·см⁻². Обработка конструкционных материалов такими дозами проводится с использованием установок, которые позволяют осуществлять изменение механических, трибологических, химических и других свойств поверхности металлов, сплавов, интерметаллидов и керамик без изменения их объема.

К источникам такого типа предъявляются следующие требования: более низкая чистота ионного пучка; источники заряженных частиц должны обеспечивать требуемые дозы в приемлемые промежутки времени; быть простыми, надежными, технологичными в изготовлении и эксплуатации. Большинство деталей машин и инструментов изготавливается из сталей, содержащих нитридообразующие элементы, включая основной компонент – железо. Обработка ионами азота приводит к формированию в поверхностном слое материала мелкодисперсных нитридов и к упрочнению его поверхности.

Наиболее перспективными ионными источниками для обработки металлических конструкционных материалов, где требуются высокие дозы облучения при средних энергиях, являются источники на основе вакуумной дуги. Такие источники работают в частотно-импульсном режиме и обеспечивают высокую производительность. Катодная дуга используется для формирования плазмы, из которой экстрагируется поток ионов. Ионы по сечению потока имеют различную зарядность. Для каждого химического элемента характерно свое распределение ионов по зарядовым состояниям. Данные источники генерируют ионные потоки с высокой плотностью ионного тока и обеспечивают многоэлементную, высококонцентрационную и другие виды ионной обработки.

Бомбардировка быстрыми ионами поверхности твердых тел сопровождается рядом физических явлений или процессов. Среди них: нейтрализация подлетающей к поверхности частицы, оже-электронная эмиссия, отражение части бомбардирующих частиц и их энергии, ионно-электронная потенциальная и кинетическая эмиссия, ионно-фотонная эмиссия, внедрение ионов, потери энергии и распределение внедренных атомов по глубине, радиационные повреждения, диффузия и радиационно-ускоренная диффузия, ионное распыление и др.

В результате ионной обработки ускоренные атомы внедряются в поверхностный слой, толщина его зависит от энергии ускоренных ионов и варьируется в широких пределах. Механические, химические, электрические, оптические, магнитные и другие свойства твердых тел могут существенно меняться при введении имплантируемых атомов путем ионной обработки. Использование ускоренных ионов позволяет вводить в поверхностную область любого твердого тела практически любой легирующий элемент и получать требуемую концентрацию вводимого легирующего элемента и порядок его распределения по глубине, что не может быть достигнуто другими способами.

Ионная обработка для контролируемого изменения поверхности чувствительных свойств имеет две основные области использования: способы эффективной модификации механических и физико-химических свойств материалов; инструменты для изучения основных процессов и явлений, таких как коррозия, высокотемпературное окисление, захват примеси при легировании и т.п. Наиболее перспективное использование ионной обработки это

изменение механических и трибологических свойств: изменение твердости, модулей упругости, условий трения, износостойкости, усталостной прочности поверхности различных материалов и т.д.

Ионная обработка в тлеющем разряде имеет ряд преимуществ по сравнению с другими способами обработки поверхности, например, нанесением покрытий. К ним можно отнести следующие: поверхностные свойства материала можно менять независимо от его объемных свойств; процесс не имеет термодинамических ограничений, составы сплавов не ограничены рамками равновесных диаграмм состояния, диффузией, что позволит получать новые метастабильные составы; модифицирует существующие внешние поверхности и внутренние границы раздела; первоначальные размеры и степень шероховатости поверхности изделия меняется незначительно; высокие тепловые флуктуации в микрообъемах на поверхности образцов при обработке способствуют более глубокому проникновению легирующей примеси и проведению структурно-фазовых полиморфных превращений с образованием дислокационных петель; низкие среднеинтегральные температуры нагрева образцов позволяют избежать деградации поверхностной обработки и объемных механических свойств, связанных с повышением температуры; иммерсионная обработка из плазмы позволяет обрабатывать изделия любой геометрической формы [7]; параметры ионной обработки легко поддаются контролю и воспроизводимости с достаточной степенью точности.

Основное ограничение при ионной обработке однопоточным потоком связано с тем, что ускоренные частицы движутся по прямолинейным траекториям. Проективный пробег частиц не превышает десятых долей микрометра. Ионная обработка как способ поверхностной модификации и структурирования недостаточно широко используется технологами, предпочитающими другие традиционные технологии улучшения качества поверхности деталей. Ионная обработка, в тлеющем разряде как технологический прием требует более высокой квалификации и культуры соблюдения технологической дисциплины от обслуживающего персонала, в результате чего качество поверхности значительно повышается. Приведенные ограничения более широкого использования ионной обработки в тлеющем разряде в машиностроении при желании можно легко преодолеть различными способами.

Ионная обработка в тлеющем разряде способствует более глубокому проникновению легирующей примеси, структурно-фазовым полиморфным превращениям и дислокационным петлям за счет тепловых флуктуаций и колебаний кристаллической решетки. Упругие столкновения налетающих частиц с атомами решетки инициируют в приповерхностных слоях возникновение упругих волн, вслед за которыми движутся тепловые от флуктуаций, вызываемых взрывной эмиссией [8], все это способствует более длинным каскадам смещений и полиморфизму сингоний.

Возбуждение самостоятельного тлеющего разряда в различных технологических средах зависит от наименьшей разности потенциалов между электродами, необходимой для его поддержания без наличия внешних ионизаторов. Он поддерживается за счёт процессов ионизации технологической среды между электродами в результате электронной эмиссии с катода, и интенсивность этих процессов возрастает с увеличением разности потенциалов между электродами. При этом интенсивность процессов ионизации должна быть достаточной для постоянного возникновения новых заряженных частиц при рекомбинации или осаждении существующих. Величина потенциала возбуждения зависит от природы и давления p технологической газовой среды, от материала, формы, состояния поверхности электродов и обрабатываемых изделий, а также от расстояния L между ними. Согласно закону Пашена, в однородном электрическом поле величина потенциала возбуждения тлеющего разряда зависит от общего числа атомов технологической среды в промежутке между электродами или от произведения pL . Пашеном установлено, что наименьшая величина потенциала возбуждения разряда между двумя плоскими электродами есть величина постоянная для данной технологической среды при одинаковых значениях произведения pL [6]. На рис. 2 представлены графические зависимости для различных газов.

Следует отметить, что управлять процессом возбуждения разряда можно, меняя состав технологической среды, так как, согласно эффекту Пеннига [6], наличие незначительных примесей в основном газе, заполняющем межэлектродный промежуток, а также наличие на поверхности катода и упрочняемых изделий тонких плёнок чужеродных атомов приводит к изменению величины потенциала возбуждения разряда.

Если в технологической среде присутствует примесь, потенциал ионизации которой ниже энергии возбуждения метастабильного уровня основы происходит снижение потенциала возбуждения разряда. В отсутствие примеси электроны, ускоренные в электрическом поле, отдают свою энергию атомам, переводя их в метастабильное состояние. При этом вероятность ионизации электронным ударом снижается, и потенциал возбуждения разряда повышается.

При наличии примеси возбуждённые метастабильные атомы основы сталкиваются с атомами примеси, в результате чего последние ионизируются за счёт энергии, освобождающейся при переходе метастабильных атомов в основное – состояние, что и приводит к увеличению кинетической энергии сталкивающихся частиц за счет их внутренней энергии, и энергия возбуждения переходит в кинетическую энергию разлетающихся частиц. Появление такой дополнительной ионизации приводит к снижению эффективного потенциала ионизации технологической среды и, следовательно, к снижению потенциала возбуждения разряда [6]. Действие внешних механических и ионизирующих факторов, повышающих энергетический потенциал граничного слоя материала катода и упрочняемых изделий, а также межэлектродного промежутка, снижает потенциал возбуждения разряда [6].

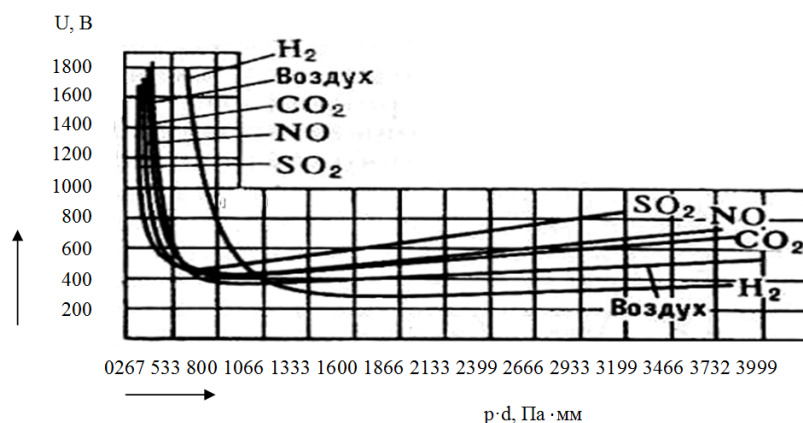


Рис. 2. Зависимости Пашена для различных газов. По оси абсцисс отложены произведения $p \cdot d$ Па·мм, по оси ординат – напряжение пробоя (U_v , В)

В технологической газовой среде и низкотемпературной плазме тлеющего разряда отношение средней скорости V направленного движения электронов или ионов под действием электрического поля к напряжённости этого поля $E: \mu = V/E$. Установление зависимости V от E получают в результате решения кинетического уравнения Больцмана. Сложность решения этого уравнения связано со значительными трудностями, обусловленными разнообразием элементарных процессов, в которых принимают участие ионы и электроны. Для теоретических приближённых расчётов вводят различные упрощения и допущения и подвижность ионов (μ_i) и электронов (μ_e) исследуют раздельно вследствие различия элементарных процессов, определяющих их движение. Для электронов существенно, что из-за малости их массы они при упругих столкновениях с тяжёлыми частицами теряют лишь незначительную часть энергии, и в слабых полях их средняя энергия намного превышает энергию тяжёлых нейтральных атомов и молекул. Впервые исследованием этих явлений занимались Ланжевэн и Таунсенд [6]. Приближённые значения μ_e получены при измерении концентрации и энергии электронов, а также E в положительном столбе газового разряда. Подвижность ионов в постороннем газе удовлетворительно описывается на основе теории Ланжевэна, которая в однородном газе зависит только от массы иона. Основные процессы, определяющие μ_i ионов в их газе, это перезарядка ионов. При столкновении с нейтральной частицей ион обменивается с ней зарядом, а вновь возникший ион продолжает движение.

Для технологических сред в предположении, что они подчиняются распределению Максвелла, подвижность ионов и электронов связана с коэффициентом диффузии D формулой Эйнштейна [6]:

$$D/\mu = kT/e,$$

где T – абсолютная температура заряженных частиц, а e – заряд электрона. В технологической среде присутствуют разные заряженные и нейтральные частицы, и их средняя энергия и температура могут быть различны, что объясняется свойством неизотермичности. Подвижность ионов в технологических средах [6]

$$U = F\mu_i,$$

где F – постоянная Фарадея, μ_i – скорость иона при напряжённости электрического поля. Величина U зависит от природы иона, а также от температуры, диэлектрической проницаемости, вязкости и концентрации технологической среды.

Результаты исследования условий обработки в тлеющем разряде позволяют использовать все достоинства процессов взаимодействия частиц с твёрдым телом с целью получения материалов с требуемыми эксплуатационными характеристиками на основе вариации: энергией частиц, дозой облучения, температурой мишеней, материалами электродов и формируемой технологической среды в вакуумной камере [9–11]. В тлеющем разряде имеется возможность подвергать мишени воздействию ионного потока с широким спектром качества ионов и их энергий и необязательно формирование концентрированных ионных пучков. Процесс взаимодействия ионного потока с мишенью в тлеющем разряде представляет собой столкновение хаоса налетающих ионов с кристаллической решеткой облучаемых изделий. Установлено, что разработку способов и технологических процессов обработки по активному, дальнедействующему наноструктурированию облучаемых материалов необходимо проводить с учётом основных физических процессов, определяющих данное явление.

Руководствуясь основными принципами автоматизации при создании технологической среды, главенствующее значение имеет стабилизация качества выпускаемой продукции на проектируемой технологической среде или стабильная воспроизводимость результатов обработки. Вследствие того, что процессы, протекающие при обработке в тлеющем разряде, отличаются быстротечностью и значительной вариантностью воздействия налетающих заряженных частиц, а также формируемых электрических и магнитных полей на упрочняемые изделия, то только автоматизированные электронные устройства, встроенные в технологическую среду, способны оперативно реагировать на изменяющиеся условия при обработке. Переход от вспомогательных процессов к основным при плазменной обработке в тлеющем разряде, особенно при их циклической повторяемости невозможно осуществить без комплексного подхода при разработке основных компонентов автоматизированной технологической среды.

Контроль параметров режима обработки, характеристик технологической среды, электрических и магнитных полей, времени основных процессов и вспомогательных переходов должен быть активным. Для этого разработаны и реализованы соответствующие средства измерения, легко встраиваемые в технологическую среду [12, 13].

Все основные элементы и исполнительные звенья технологической среды должны оснащаться электрическими приводами и соответствующими датчиками с высоким разрешением и быстродействием, а также обратной связью между исполнительными звеньями и управляющей системой. Технологические газовые среды, являющиеся источниками образующихся ионов, необходимо контролировать и стабилизировать по качеству состава на входе в технологическую среду для обеспечения воспроизводимости результата обработки.

Поскольку уже имеется определённая достаточная база научных исследований плазменной обработки в тлеющем разряде различных материалов, то вопросы автоматизации технологической среды, основанной на ручном управлении многочисленными одновременно протекающими процессами, использующей условное ранжирование их параметров по целенаправленному управлению поведением материалов и элементов конструкций, становятся своевременными и актуальными.

Библиография

1. Козлов Э.В. Формирование дефектной структуры при воздействии на металлы плазмы газового разряда // Изв. вуз. Сер. Физика. 1992. № 1. С. 14–19.
2. Белый А.В., Макушок Е.М., Поболь И.Л. Поверхностная упрочняющая обработка с применением концентрированных потоков энергии. Минск: Наука и техника, 1990. 78 с.
3. Логвин В.А., Мрочек Ж.А. Упрочнение поверхностей деталей воздействием тлеющего разряда в вакууме // Тезисы докладов, современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: материалы 12-го науч.-техн. семина. Киев: Машиностроение, 2012. С. 156–158.
4. Логвин В.А., Мрочек Ж.А., Чернов А.С. Ионно-лучевая имплантация в тлеющем разряде – резерв повышения стойкости инструментальной оснастки // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня: материалы 13-й междунар. научн.-практ. конф. 12–15 апреля 2011. СПб.: СПбГПУ, Плазмотех, 2011.
5. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1977. 512 с.
6. Физический энциклопедический словарь / гл. ред. А.М. Прохоров. М.: Сов. Энциклопедия, 1983. 928 с.
7. Gunzel R., Brutscher J., Mandl S., Moller W. Utilization of plasma ion implantation for tribological applications // Surf. Coat. Techn. 1997. V. 96. P. 16–21.
8. Григорьев С.Н., Воронин Н.А. Технология вакуумно-плазменной обработки инструмента и деталей машин: учебник. М.: Янус-К, Станкин, 2005. 508 с.
9. Жолобов А.А., Логвин В.А., Логвина Е.В. Вакуумная установка / Пат. 6536 Респ. Беларусь, МПК С 23С 14/34, заявитель Белорус.-Рос. ун-т (ВУ), № u 20090935, заявл. 12.11.09; опубл. 03.06.10, Афіцыйны бюл., Нац. цэнтр інтэлектуал. Уласнасці, 2010. № 4. С. 200.
10. Логвин В.А., Жолобов А.А., Логвина Е.В. Вакуумная установка / Пат. 7491 Респ. Беларусь, МПК С 23С 14/34, заявитель Белорус.-Рос. ун-т (ВУ), № u 20101055, заявл. 21.12.10; опубл. 30.08.11, Афіцыйны бюл., Нац. цэнтр інтэлектуал. Уласнасці, 2011. № 4. С. 193.
11. Логвин В.А., Жолобов А.А., Логвина Е.В. Способ упрочнения изделий / Пат. 15569 Респ. Беларусь, МПК С 23С 14/38, С 23С 8/00, заявитель Белорус.-Рос. ун-т (ВУ), № a 20100453, заявл. 22.03.10; опубл. 30.10.11, Афіцыйны бюл., Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці, 2011. № 5. С. 27.
12. Логвин В.А., Редько В.П., Волченков А.В., Логвина Е.В., Терешко И.В. Устройство для контроля интенсивности излучения плазмы тлеющего разряда / Пат. № 10193 Респ. Беларусь, МПК С23С 14/38, заявитель Логвин Владимир Александрович (ВУ), № u 20130944, заявл. 18.11.13; опубл. 30.08.14, Афіцыйны бюл., Нац. цэнтр інтэлектуал. Уласнасці, 2014. № 4. С. 205.
13. Логвин В.А., Редько В.П., Волченков А.В., Логвина Е.В., Терешко И.В. Устройство для контроля электромагнитного излучения плазмы тлеющего разряда / Пат. № 9963 Респ. Беларусь, МПК С23С 14/38; заявитель Белорус.-Рос. ун-т (ВУ), № u 20130551, заявл. 28.06.13; опубл. 28.02.14, Афіцыйны бюл., Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці, 2014. № 1. С. 205.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЗАНИЯ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА, ОСНАЩЕННОГО ПЛАСТИНАМИ ИЗ ТВЕРДОГО СПЛАВА ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА С НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫМ ИЗНОСОСТОЙКИМ ПОКРЫТИЕМ

***Верещака А.С., Дачева А.В., Аникеев А.И.**

ИКТИ РАН

***dr_averes@rambler.ru**

Приведены результаты исследований режущих свойств твердых сплавов группы ВРК со связкой, легированной рением, и износостойким покрытием Ti-(Ti,Al)N-TiN при точении конструкционных сталей и труднообрабатываемых никелевых сплавов. Благодаря комплексному сочетанию жаропрочной связки твердого сплава и износостойкого покрытия работоспособность режущего инструмента повышается в несколько раз.

Ключевые слова: износостойкое многослойно-композиционное покрытие, труднообрабатываемый сплав, высокотвердые стали, контактные процессы, стойкость инструмента.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF CUTTING HARDWORKED MATERIALS THROUGH THE USING OF TOOLS, EQUIPPED BY HARD METAL PLATES OF OPTIMAL COMPOSITION WITH NANO-STRUCTURED WEAR-RESISTANT COATINGS

Vereshchaka A.S., Dacheva A.V., Anikeev A.I.

IDTI RAS

Results of researches of cutting properties of Re-added WC-Co-carbides with Ti-(Ti,Al) N-TiN coating are shown at turning constructional steels and hard-to-machining nickel alloys. Due to combination of high temperature toughness of carbide and wear resistant coating tools cutting properties increase in several times.

Keywords: durable multilayer composite coating, intractable alloy, highly solid steel, contact processes, tool life.

В современной технике увеличивается объем использования новых конструкционных материалов, обладающих особыми свойствами: высокими показателями твердости, прочности, вязкости, коррозионной стойкости, жаропрочности при низкой теплопроводности. Обработка резанием таких материалов сопряжена с большими трудностями. Высокая температура, развивающаяся в зоне контакта с обрабатываемым материалом, вызывает разупрочнение стандартных твердых сплавов и, как следствие этого, резкое снижение стойкости инструмента и скорости резания. Поэтому актуальна проблема создания нового инструментального материала с более высоким уровнем эксплуатационных свойств при обработке труднообрабатываемых сплавов.

Частично можно улучшить свойства инструментального материала за счет изменения структуры сплава (равномерности распределения его компонентов по объему изделия, однородности зерен WC, входящих в его состав, по размеру, форме и т.д.). Одним из возможных средств решения этой задачи является использование при получении твердых сплавов на карбидной основе высокопрочных и жаростойких связок, содержащих, кроме кобальта, тугоплавкие металлы, не образующие устойчивых карбидов. Другое возможное средство повышения работоспособности инструмента – нанесение на его рабочие поверхности покрытия с высокой износо- и теплостойкостью, пассивного по отношению к обрабатываемому материалу [1–3]. Такое покрытие должно способствовать уменьшению контактных нагрузок, благоприятному перераспределению тепловых потоков и повышать сопротивляемость материала микро- и макроразрушению.

В данной работе предлагается использовать комплексный подход к режущему инструменту с точки зрения получения твердого сплава оптимального состава и наноструктурированного износостойкого покрытия специальной архитектуры на нем для обработки жаропрочных и труднообрабатываемых материалов, которые обычными твердыми сплавами обрабатываются при относительно низкой скорости резания. Сочетание прочной твердосплавной основы с нанесенным на ней твердым покрытием из соединений титана или алюминия позволяет значительно повысить эксплуатационные характеристики композита [1].

Объектом настоящего исследования являлись режущие пластинки из твердого сплава на основе карбида вольфрама с кобальто-рениевой связкой (ВРК), удовлетворяющие перечисленным требованиям, с нанесенными на них многофункциональными покрытиями особой архитектуры. **Целью** работы было изыскание возможности увеличения стойкости режущего инструмента при обработке труднообрабатываемых материалов за счет коррекции состава сплава и использования износостойкого покрытия. Оценивалась работоспособность сплава с кобальто-рениевой связкой при обработке резанием труднообрабатываемого материала и изучали влияние покрытия на эксплуатационную стойкость инструмента.

Твердый сплав. При обработке резанием труднообрабатываемых материалов, особенно жаропрочных сплавов на никелевой основе происходит значительный износ инструмента в результате взаимодействия кобальтовой связ-

ки твердого сплава с обрабатываемым материалом под влиянием высоких температур, развивающихся в зоне резания. Многочисленные работы отечественных и зарубежных исследователей, посвященные совершенствованию свойств твердых сплавов за счет упрочнения (в том числе за счет легирования) связки, которая является лимитирующим элементом сплава, свидетельствуют о высокой роли связки в работоспособности инструмента [2–13]. Другие требования к связкам: хорошая смачиваемость карбидной составляющей, отсутствие способности к образованию устойчивых карбидов, достаточная пластичность, должны сохраняться на уровне кобальтовой связки.

Исследования по определению оптимального состава связки твердого сплава проводились ВНИИТС над однокорбидными вольфрамо-кобальтовыми твердыми сплавами. Было установлено [1], что добавки рения к металлам группы железа способствуют повышению температуры разупрочнения твердых сплавов, следовательно, увеличению их твердости и износостойкости при повышенных температурах, а также уменьшению адгезии с обрабатываемым жаропрочным материалом. Рений помимо высокой температуры плавления и рекристаллизации обладает рядом уникальных свойств – высоким модулем упругости, прочностными и пластическими свойствами, близкими к кобальту. Очень важным является то, что рений сохраняет высокий уровень свойств при повышенных температурах. Рений отвечает также ряду требований, предъявляемых к легирующим добавкам: не образует устойчивых карбидов, взаимодействует с кобальтом с образованием непрерывного ряда твердых растворов.

Установлено, что введение рения в кобальтовую связку сплавов на основе WC повышает их сопротивление окислению при нагреве на воздухе до 950 °С. Максимальное сопротивление окислению наблюдали у сплава ВРК15, жаростойкость которого была в 2 раза выше, чем у стандартного сплава WC–Co с эквивалентным содержанием связки.

В результате проведенных ВНИИТС исследований было определено соотношение Re:Co в связке твердого сплава, чтобы получить в итоге оптимальное сочетание требуемых свойств твердого сплава. Основные свойства твердого сплава ВРК-13 представлены в табл. 1.

Таблица 1

Свойства сравниваемых твердых сплавов

Сплав	Легирующие добавки	H_v , кА/м	$\sigma_{изг}$, кгс/мм ²	HRA	Микроструктура	
					Общая пористость, %	Кол-во зерен до 1 мкм, %
ВРК-13	Re	14,3	2000	91,5	0,04	83

Этот сплав обладает высокой твердостью и прочностью при повышенных температурах и выбран в качестве основы под дальнейшее нанесение покрытия.

Износостойкое покрытие. Особую роль в проведенных исследованиях играет многофункциональное покрытие. Комплекс «твердый сплав с жаропрочной связкой + покрытие» показывает значительные результаты по своим характеристикам.

Нанесение износостойких покрытий позволяет многократно [1] повысить стойкостные характеристики режущего твердосплавного инструмента, повысить чистоту обрабатываемой поверхности, увеличить скорость резания и т.д.

Основные направления совершенствования инструмента с покрытием:

- разработка многослойно-композиционных покрытий, в наибольшей степени удовлетворяющих концепции покрытия как промежуточной технологической среды между обрабатываемым и инструментальным материалами;
- совершенствование технологии нанесения покрытия с целью снижения дефектности покрытия;
- изыскание новых составов покрытий с низкой физико-химической активностью по отношению к обрабатываемому материалу;
- повышение жесткости и теплостойкости инструментальной матрицы путем создания промежуточного термостабильного слоя между покрытием и инструментальным материалом;
- совершенствование структуры покрытия;
- нахождение оптимальных радиусов округления режущих кромок рабочего инструмента и подготовка поверхности перед нанесением покрытия.

Инструментальный материал с износостойким покрытием является материалом композиционного типа, в котором оптимально сочетаются свойства поверхностного слоя (высокие значения твердости, теплостойкости, пассивности по отношению к обрабатываемому материалу и т.д.) и свойства, проявляющиеся в объеме тела инструмента (прочность, ударная вязкость, трещиностойкость и т.д.). Кристаллохимические, физико-механические и теплофизические свойства покрытий на рабочих поверхностях режущего инструмента могут сильно отличаться от соответствующих показателей инструментального и обрабатываемого материалов. Поэтому покрытие может заметно улучшить свойства инструментального материала с точки зрения повышения его сопротивляемости микро- и макроразрушению. С другой стороны, покрытие может способствовать уменьшению контактных нагрузок, снижению мощности тепловых источников и благоприятному перераспределению тепловых потоков, тем самым уменьшая термомеханическую напряженность режущей части инструмента. Таким образом, покрытие можно рассматривать как своеобразную промежуточную технологическую среду между контактирующими поверхностями инструментального и обрабатываемого материалов с уникальной способностью одновременно повышать сопротивляемость

контактных площадок инструмента разрушению и снижать термомеханическую нагрузку, приводящую к такому разрушению.

Стойкость пластин с износостойким покрытием выше стойкости не только материала основы, но и более износостойких сплавов соседних групп применения. Это позволило значительно расширить область применения сплавов с покрытиями благодаря их универсальности.

Целесообразно эксплуатировать инструмент с покрытием на скоростях, превышающих скорость резания обычного инструмента на 30–60 %. Такие скорости соответствуют оптимальной экономической скорости резания, минимизирующей интенсивность изнашивания и затраты на обработку резанием.

Наибольшее распространение в качестве покрытий на твердых сплавах получили карбиды, нитриды, карбонитриды титана и оксид алюминия.

Покрытия карбида и нитрида титана являются базовыми при производстве твердых сплавов с износостойкими покрытиями, поскольку они всегда входят в состав многослойных покрытий, и, как правило, представляют собой слой, непосредственно примыкающий к твердосплавной основе, и играют важную роль в повышении стойкости характеристик инструмента. В процессе осаждения покрытий карбида титана формируется переходный слой покрытия – основа, а также происходят основные изменения в структуре и свойствах приповерхностной области твердых сплавов.

В качестве подложки для нанесения износостойких покрытий разработаны специальные твердые сплавы, позволяющие в сочетании с собственно технологией газофазного осаждения регулировать процессы зародышеобразования и роста покрытий, то есть регулировать их структуру. В данном случае используются сплавы ВРК-13 и ВРК-15.

Качество, свойства и структура покрытия в значительной степени зависят от параметров газофазного осаждения. Наиболее важную роль играет температура на границе раздела конденсата и инструментального материала. От температуры зависят структура покрытия, прочность его адгезии с твердым сплавом, причем последняя характеристика определяется также возможностью диффузионного взаимодействия пары покрытие – твердый сплав. Взаимная диффузия повышает прочность сцепления покрытия и твердого сплава и, в свою очередь, зависит от кристаллохимического сродства осаждаемого покрытия и твердого сплава. Однако если на границе покрытие – твердый сплав за счет ухода вещества из твердого сплава (углерод, кислород и др.) образуются устойчивые хрупкие соединения (η -фаза), прочность сцепления покрытия и твердого сплава снижается.

Одним из путей повышения общей толщины покрытия является его многослойность (последовательно расположенные слои TiC, TiCN переменного состава и TiN с использованием в некоторых случаях керамических прослоек Al_2O_3) при сохранении относительно мелкозернистой структуры, а за счет этого и достижение большего эффекта повышения стойкости инструмента. За счет осаждения карбонитридов, а затем нитрида титана, удается в значительной степени подавить формирование крупнозернистой структуры покрытия. Кроме того, TiCN и TiN обладает пониженной адгезионной способностью по отношению к обрабатываемым материалам на основе железа, а также высокой твердостью и окалинотойкостью.

В настоящее время в мировой практике производства режущего инструмента разрабатываются составы износостойких покрытий на основе композиционно-многослойного принципа. Согласно этому принципу, покрытие содержит несколько промежуточных слоев, каждый из которых имеет функциональное назначение.

Слой, непосредственно примыкающий к инструментальному материалу, должен обеспечивать прочную связь покрытия с рабочими поверхностями инструмента. Поэтому кристаллохимическое строение этого слоя и инструментального материала должно быть идентично. Вместе с тем при эксплуатационных температурах на границах этого слоя и инструментального материала не должно образоваться декарбидизирующих фаз. Необходимо также обеспечение минимальной разницы тепло- и физико-механических свойств материалов покрытия и инструмента, т.к. в противном случае при эксплуатационных термомеханических нагрузках концентрация напряжения приведет к разрушению покрытия на границе раздела покрытие – инструментальный материал.

Не менее важную роль выполняет слой, непосредственно контактирующий с обрабатываемым материалом. При выборе свойств материала этого слоя необходимо, чтобы кристаллохимическое строение максимально отличалось от соответствующего строения обрабатываемого материала.

Назначение слоев, находящихся между перечисленными выше, состоит в адгезионной связи этих слоев. Кроме этого, эти промежуточные слои могут обладать барьерными функциями, т.е., например, увеличивать или снижать термодинамическую устойчивость покрытия или его теплопроводность.

Покрытия на твердый сплав наносились методом КИБ (комплексная ионная бомбардировка). Основными преимуществами метода КИБ являются [1]:

- возможность получения качественных покрытий при температуре 300–800 °С;
- отсутствие переходной зоны между покрытием и инструментальным материалом;
- возможность получения широкой гаммы однослойных и многослойных покрытий;
- получение покрытий, равномерных по толщине, что обуславливает возможность нанесения на острие грани;
- возможность предупреждения образования дефектов на поверхностных слоях инструментального материала благодаря мелкозернистости получаемого покрытия.

Сравнительно низкая температура осаждения определила преимущественную область применения метода КИБ – осаждение износостойких покрытий из нитрида титана на инструменты из быстрорежущих сталей и твердых сплавов, так как такой процесс можно вести при температурах, не превышающих 500 °С, что гораздо ниже температур структурных превращений сталей и сплавов.

В результате проведенных исследований оптимального состава твердого сплава и архитектуры износостойкого покрытия был выявлен наиболее подходящий твердый сплав для нанесения покрытия с дальнейшим определением режущих свойств данного твердого сплава с покрытием в сравнении со стандартным твердым сплавом.

Твердый сплав ВРК-13 оказался наиболее подходящим для нанесения покрытия ввиду более высокой прочности при изгибе по сравнению со сплавом ВРК-15. На этот субстрат был нанесен слой покрытия из $\text{Ti}-(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}-\text{TiN}$ методом КИБ.

Ниже представлены результаты исследований режущих свойств контрольных пластин ВК10ХОМ, пластин ВК10ХОМ- $\text{Ti}-(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}-\text{TiN}$, а также контрольных пластин ВРК-13 и пластин ВРК-13- $\text{Ti}-(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}-\text{TiN}$ при продольном точении стали 45 с $t=1,0$ мм; $S=0,3$ мм/об; $v=150$ м/мин, при продольном точении сплава ХН77ТЮР с $t=1,0$ мм; $S=0,15$ мм/об; $v=50$ м/мин.

На рис. 1 приведена зависимость износа задней поверхности h_3 твердосплавных пластин от времени при точении стали 45 с $t=1,0$ мм; $S=0,3$ мм/об; $v=150$ м/мин: 1 – ВК10ХОМ, 2 – ВРК-13, 3 – ВК10ХОМ- $\text{Ti}-(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}-\text{TiN}$, 4 – ВРК-13- $\text{Ti}-(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}-\text{TiN}$.

На рис. 2 приведена зависимость износа задней поверхности h_3 твердосплавных пластин при точении сплава ХН77ТЮР с $t=1,0$ мм; $S=0,15$ мм/об; $v=50$ м/мин: 1 – ВК10ХОМ, 2 – ВРК-13, 3 – ВК10ХОМ- $\text{Ti}-(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}-\text{TiN}$, 4 – ВРК-13- $\text{Ti}-(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}-\text{TiN}$.

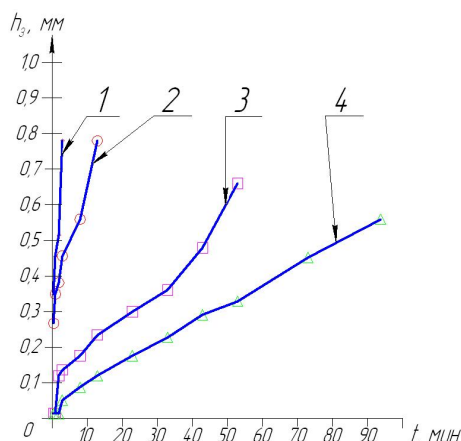


Рис. 1. Зависимость износа задней поверхности h_3 твердосплавных пластин от времени при точении стали 45 с $t=1,0$ мм, $S=0,3$ мм/об, $v=150$ м/мин: 1 – ВК10ХОМ, 2 – ВРК-13, 3 – ВК10ХОМ- $\text{Ti}-(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}-\text{TiN}$, 4 – ВРК-13- $\text{Ti}-(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}-\text{TiN}$

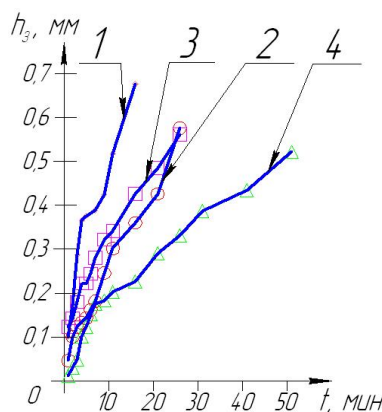


Рис. 2. Зависимость износа задней поверхности h_3 твердосплавных пластин от времени при точении сплава ХН77ТЮР с $t=1,0$ мм, $S=0,15$ мм/об, $v=50$ м/мин: 1 – ВК10ХОМ, 2 – ВРК-13, 3 – ВК10ХОМ- $\text{Ti}-(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}-\text{TiN}$, 4 – ВРК-13- $\text{Ti}-(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}-\text{TiN}$

По рис. 1 и 2 можно сделать **вывод**: лучший результат при точении стали 45 обеспечивали резцы, оснащенные пластинами ВРК-13 с композиционно-многослойным покрытием $\text{Ti}-(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}-\text{TiN}$, которые существенно превосходили стойкость контрольных пластин ВРК-13 и ВК10ХОМ без покрытия, в 1,9 раз превосходили стойкость пластин ВК10ХОМ- $\text{Ti}-(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}-\text{TiN}$ во всем диапазоне исследованных условий обработки. При точении жаропрочного сплава ХН77ТЮР резцы, оснащенные пластинами ВРК-13- $\text{Ti}-(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}-\text{TiN}$, имели стойкость в 2,2 раза превышающую стойкость контрольных пластин ВК10ХОМ- $\text{Ti}-(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}-\text{TiN}$ и более чем в 4 раза стойкость контрольных пластин ВК10ХОМ без покрытия.

Сильное изменение поверхностных свойств инструментального материала и возможность их варьирования в достаточно широких пределах путем использования покрытий различного состава, строения и структуры позволяют управлять важнейшими функциональными параметрами процесса резания. К таким параметрам можно отнести характеристики стружкообразования, контактных и тепловых процессов, изнашивания контактных площадок инструмента. Наконец, направленное изменение основных показателей процесса резания позволяет в значительной

степени влиять и на такие важные параметры, как стойкость инструмента, производительность, точностные и качественные показатели готовых деталей.

Внедрение в различных отраслях промышленности инструмента повышенного качества позволяет снизить затраты по его эксплуатации и уменьшить себестоимость производства единицы конечной продукции за счет повышения производительности труда.

Библиография

1. Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойким покрытием. М.: Машиностроение, 1993. 368 с.
2. Vereshchaka A.A., Vereshchaka A.S., Mgaloblishvili O., Morgan M.N., Batako A.D. Nano-scale multilayered-composite coatings for the cutting tools // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. V. 72, Is. 1–4. 2014. P. 303–317.
3. Vereschaka A.A., Volosova M.A., Grigoriev S.N., Vereschaka A.S. Development of wear-resistant complex for high-speed steel tool when using process of combined cathodic vacuum arc deposition // *Procedia CIRP* 9. 2013. P. 8–12.
4. Vereschaka A. Development of assisted filtered cathodic vacuum arc deposition of nano-dispersed multi-layered composite coatings on cutting tools // *Key Engineering Materials*. 2014. V. 581. P. 62–67.
5. Vereschaka A.S., Grigoriev S.N., Sotova E.S., Vereschaka A.A. Improving the efficiency of the cutting tools made of mixed ceramics by applying modifying nano-scale multilayered coatings // *Advanced Materials Research*. 2013. V. 712–715. P. 391–394.
6. Vereschaka A.S., Grigoriev S.N., Tabakov V.P., Sotova E.S., Vereschaka A.A., Kulikov M.Yu. Improving the efficiency of the cutting tool made of ceramic when machining hardened steel by applying nano-dispersed multi-layered coatings // *Key Engineering Materials*. 2014. V. 581. P. 68–73.
7. Vereschaka A.A., Vereschaka A.S., Grigoriev S.N., Sladkov D.V. Nano-Scale multi-layered coatings for cutting tools generated using assisted filtered cathodic-vacuum-arc deposition (AFCVAD) // *Applied Mechanics and Materials*. Trans. Tech. Publications. 2013. V. 325–326. P. 1454–1459.
8. Сотова Е.С., Верещака А.А., Верещака А.С. Керамические режущие инструменты. М.: СТАНКИН, 2013. 149 с.
9. Верещака А.С., Кириллов А.К., Сотова Е.С., Дачева А.В. Применение высокопрочной композиционной керамики с наноструктурированным покрытием в технологиях экологически дружелюбной сухой обработке резанием с компенсацией физических функций СОТС // *СТИН*. 2010. № 6. С. 32–37.
10. Верещака А.А. Некоторые аспекты выбора функциональных покрытий для режущих инструментов // *Известия КБГУ*. 2013. Т. III, № 6. С. 57–59.
11. Верещака А.А. Разработка процесса ассистированного фильтруемого вакуумно-дугового осаждения // *Вестник Брянского государственного технического университета*. 2014. № 3(43). С. 10–13.
12. Верещака А.А. Некоторые аспекты выбора функциональных покрытий для режущих инструментов // *Известия КБГУ*. 2013. Т. III, № 6. С. 57–60.
13. Верещака А.С., Бубликов Ю.И. Модификация поверхностных свойств инструментальных материалов как важный резерв их совершенствования // *Известия КБГУ*. 2013. Т. III, № 6. С. 9–12.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ОЦЕНКА СВОЙСТВ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МНОГОСЛОЙНО-КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ Ti-TiN-(TiCrAl)N и Zr-ZrN-(ZrNbCrAl)N

Верещака А.А.¹, Верещака А.С.², Бубликов Ю.И.¹, *Аксененко А.Ю.², Ситников Н.Н.³

¹ИКИ РАН, ²МГТУ «СТАНКИН», ³ГНЦ ФГУП «Центр М.В. Келдыша»

*aksenenkoa@gmail.com

Формирование структур поверхностных слоёв инструментального материала, адаптированных под условия термомеханического нагружения в процессе резания, можно производить различными технологическими методами, среди которых наиболее эффективным является осаждение функциональных покрытий на рабочие поверхности режущего инструмента. В ходе проведенных исследований рассматривались два наноструктурированного многослойно-композиционного покрытия: Ti-TiN-(TiCrAl)N и Zr-ZrN-(ZrNbCrAl)N. Были проведены металлографические исследования, а также определение фазового состава покрытий методом рентгеноструктурного анализа. Эффективность инструмента из твердого сплава T14K8 с разработанными покрытиями определяли путем сравнительной оценки стойкости инструмента без покрытия со стандартным покрытием (TiN) и разработанными покрытиями (Ti-TiN-(TiCrAl)N и Zr-ZrN-(ZrNbCrAl)N) при точении стали 45.

Ключевые слова: наноструктурированные многослойно-композиционные покрытия, контактные процессы, стойкость инструмента.

COMPARATIVE ANALYSIS AND EVALUATION OF PROPERTIES OF NANO-STRUCTURED MULTILAYER COMPOSITE COATINGS Ti-TiN- (TiCrAl) N and Zr-ZrN-(ZrNbCrAl)N

Vereschaka A.A.¹, Vereschaka A.S.², Bublikov J.I.¹, Aksenenko A.Y.², Sitnikov N.N.³

¹IDTI RAS, ²MSTU «STANKIN», ³Federal State Unitary Enterprise «Keldysh Research Center»

Formation of the structure of the surface layers of the tool material, adapted to the conditions of the thermomechanical loading during the cutting process can be performed by different technological methods, the most effective is the deposition of functional coatings on working surfaces of the cutting tool. During the studies considered two nanostructured multilayer composite coatings: Ti-TiN- (TiCrAl) N and Zr-ZrN- (ZrNbCrAl) N. Metallographic studies were conducted, and – the definition of the phase composition of coatings by X-ray analysis. Effective tools of carbide T14K8 with developed coatings were determined by comparative evaluation tool life without coating, with a standard coating (TiN) and developed coatings (Ti-TiN- (TiCrAl) N and Zr-ZrN- (ZrNbCrAl) N) at turning steel 45 .

Keywords: nano-structured multilayer composite coatings; contact processes; tool life

Введение. Наноструктурированные покрытия обеспечивают существенное повышение работоспособности различных типов режущего инструмента. Это связано с особенностью наноструктурированных материалов, обладающих увеличенной площадью межзеренных границ и сбалансированным соотношением твёрдости, оказывающей определяющее влияние на износостойкость, и ударной вязкости, существенно влияющей на сопротивляемость инструмента отказам в виде макро- и микрохрупкого разрушения, особенно в условиях действия термомеханических напряжений, имеющих циклический характер [1–7].

Несмотря на существенные успехи, связанные с внедрением режущего инструмента с покрытием, до настоящего времени именно инструмент остаётся наиболее слабым звеном технологической системы резания. Для повышения эффективности этой системы требуется дальнейшее совершенствование инструмента, в частности – за счет применения инновационных типов покрытий, имеющих многослойно-композиционную архитектуру и наноразмерную зерновую структуру со слоями различного композиционного состава и функционального назначения [8–14].

Управление составом, структурой и свойствами осаждаемого конденсата является важнейшей научной и практической задачей разрабатываемых процессов и технологий формирования модифицирующих покрытий на рабочих поверхностях инструмента, так как управление процессами структурной трансформации приповерхностных слоев инструментального материала путём нанесения функциональных покрытий является важным резервом повышения ресурса инструментальных материалов, работоспособности режущих инструментов и эффективности механической обработки.

В ходе проведенных исследований были проведены металлографические исследования, а также определение фазового состава покрытий методом рентгеноструктурного анализа.

Определение адгезионных характеристик покрытий методом скретч-тестирования. Исследования проводили на скретч-тестере фирмы Nanovea. Индентер представлял собой алмазный конус с углом при вершине 120° и радиусом закругления вершины 100 мкм. Испытания проводили с нагрузкой, линейно увеличивающейся от 0,05 Н до конечной (табл. 1). Длина царапин составляла 5 мм. На каждом образце проводили по 3 испытания.

Таблица 1

Параметры испытаний на адгезионную прочность покрытий

№	Покрытие	Конечная нагрузка, Н	Скорость нагружения, Н/мин
1	Ti-TiN-(TiCrAl)N	40	10
2	Zr-ZrN-(ZrNbCrAl)N	35	10

По полученным графикам определяли два параметра: первую критическую нагрузку L_{C1} , при которой появлялись первые трещины на покрытии, и вторую критическую нагрузку L_{C2} , при которой покрытие полностью разрушалось.

На рис. 1 и 2 приведены графики изменения нагрузки и сигнала датчика акустической эмиссии и панорамы царапин на образцах из твердого сплава с многослойными покрытиями.

На образце Ti-TiN-(TiCrAl)N (рис. 1) разрушение покрытия произошло по типу клиновидного скалывания.

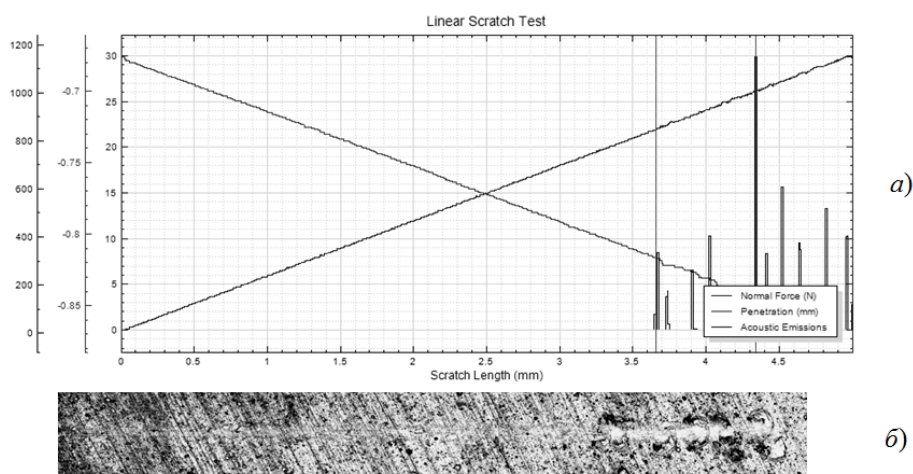


Рис. 1. График (а) и панорама царапины (б) на образце Ti-TiN-(TiCrAl)N

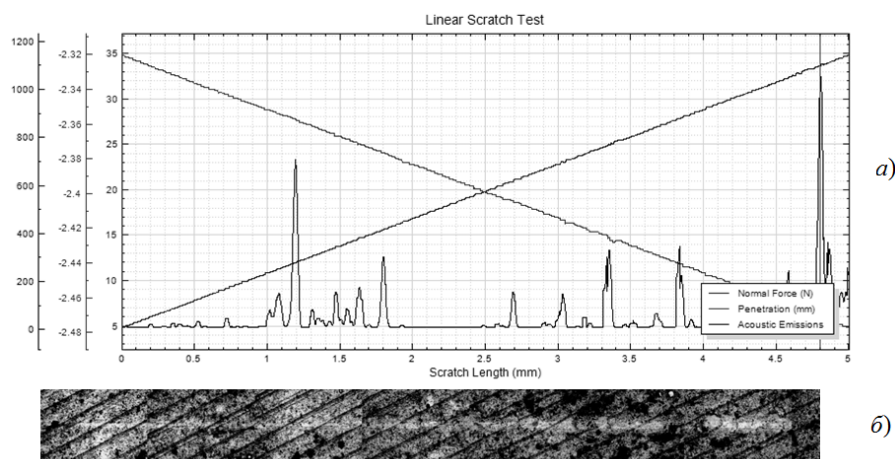


Рис. 2. График (а) и панорама царапины (б) на образце Zr-ZrN-(ZrNbCrAl)N

В табл. 2 приведены результаты обработки экспериментальных данных.

Таблица 2

Адгезионная прочность многослойных покрытий

№	Покрытие	L_{C1}		L_{C2}	
		3 испыт.	среднее	3 испыт.	среднее
1	Ti-TiN-(TiCrAl)N	22	—	26	—
2	Zr-ZrN-(ZrNbCrAl)N	22	17	30	28
		17		22	
		12		33	

Проведенные исследования показывают, что НМКП Ti-TiN-(TiCrAl)N обладает немного более высокой адгезией с субстратом по сравнению с НМКП Zr-ZrN-(ZrNbCrAl)N. Более высокая адгезия обеспечивается использованием Ti в качестве адгезионного слоя. При этом стоит заметить, что оба покрытия обладают достаточно хорошей адгезией.

Определение фазового состава покрытий методом рентгеноструктурного анализа

Покрытие Ti-TiN-(TiCrAl)N. В покрытии содержатся фазы α -Ti; TiN; CrTiN₂ (возможная фаза). Штрих-диаграммы фаз, совмещенные с дифракционными спектрами, полученными съёмкой в симметричной и асимметричной геометрии, представлены на рис. 3.

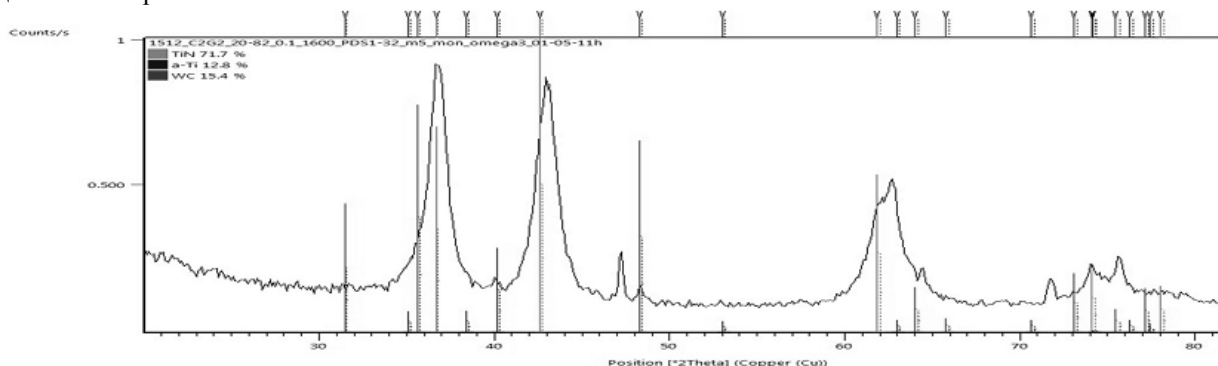


Рис. 3. Дифракционный спектр Ti-TiN-(TiCrAl)N симметричный, Ti-TiN-(TiCrAl)N асимметричный $\omega=3^\circ$, штрих-диаграммы фаз α -Ti, TiN, WC

Покрытие Zr-ZrN-(ZrNbCrAl)N. Основная фаза в покрытии – твёрдый раствор на основе фазы ZrN с периодом решётки, близким к $a=4,610 \text{ \AA}$. Штрих-диаграммы фаз, совмещенные с дифракционными спектрами, полученными съёмкой в симметричной и асимметричной геометрии, представлены на рис. 4.

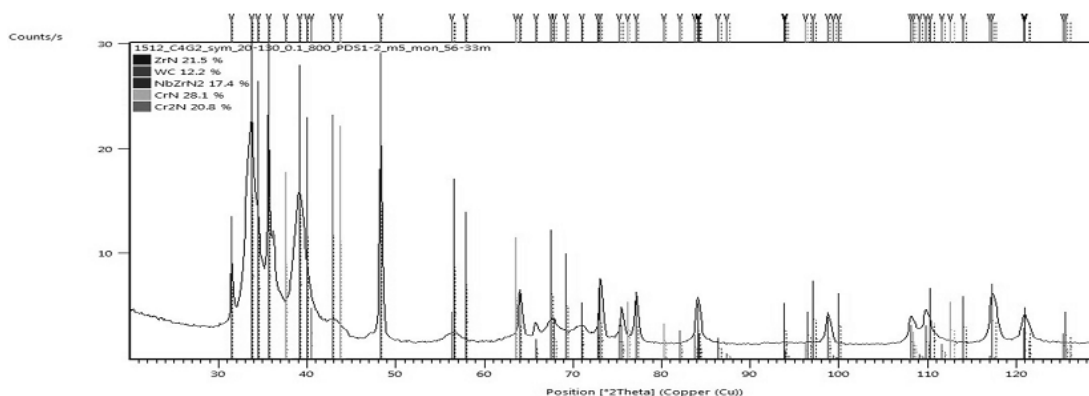


Рис. 4. Дифракционный спектр Zr-ZrN-(ZrNbCrAl)N симметричный, штрих-диаграммы WC, (ZrN), $a=4,5978 \text{ \AA}$, Cr₂N, NbZrN₂, CrN

Материалографические исследования микроструктуры покрытия на поперечном шлифе

Металлографические исследования выполнялись на растровом электронном микроскопе (РЭМ) при увеличении X 50000. Ниже представлены микроструктуры покрытий Ti-TiN-(TiCrAl)N (рис. 5) и ZrN-(ZrNbCrAl)N (рис. 6) на поперечном шлифе.

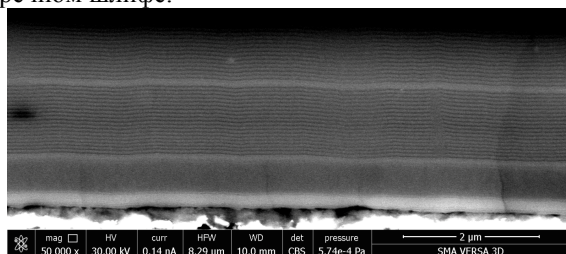


Рис. 5. Микроструктура НМКП Ti-TiN-(TiCrAl)N на поперечном шлифе при увеличении x 50000

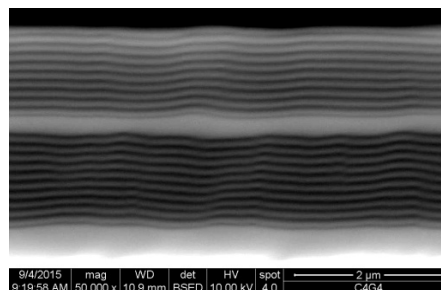


Рис. 6. Микроструктура НМКП Zr-ZrN-(ZrNbCrAl)N на поперечном шлифе при увеличении x 50000

На микроструктуре покрытия отчетливо видны наносубслои. Причем для износостойкого слоя НМКП Ti-TiN-(TiCrAl)N толщина нанослоев составляет порядка 10 нм, а для НМКП ZrN-(ZrNbCrAl)N – порядка 20 нм. Также заметен подслои, располагающийся между износостойким и промежуточным слоем НМКП. Данный подслои формируется в процессе дополнительного нагрева инструмента перед осаждением износостойкого слоя.

Исследование работоспособности инструмента. Эффективность инструмента из твердого сплава Т14К8 с разработанными НМКП определяли путем сравнительной оценки стойкости инструмента без покрытия, со стандартным покрытием (TiN) и разработанными НМКП (Ti-TiN-(TiCrAl)N и Zr-ZrN-(ZrNbCrAl)N). Исследования проводили при «сухом» резании при точении стали 45 (180 НВ) на станке 16К20 с тиристорным приводом, позволяющим поддерживать постоянное значение скорости резания при изменении диаметра заготовки. Результаты сравнительных аттестационных исследований режущих свойств твердосплавных пластин с исследуемыми НМКП представлены на рис. 7.

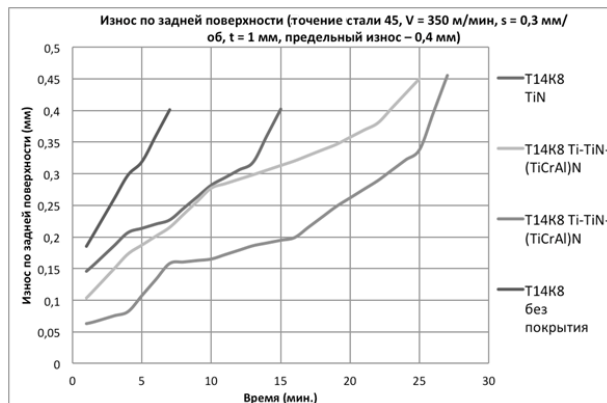


Рис. 7. Сравнительная оценка стойкости инструмента без покрытия, со стандартным покрытием (TiN) и разработанными НМКП (Ti-TiN-(TiCrAl)N и Zr-ZrN-(ZrNbCrAl)N)

Выводы. Данные, приведенные на рис. 7, позволяют отметить повышение периода стойкости инструмента с разработанными НМКП до 4 раз по сравнению с периодом стойкости инструмента без покрытия и до 2 раз по сравнению со стандартным покрытием TiN. При этом НМКП Ti-TiN-(TiCrAl) показало стойкость примерно на 10 % выше, чем НМКП Zr-ZrN-(ZrNbCrAl)N. Более высокая стойкость НМКП Ti-TiN-(TiCrAl) согласуется с его лучшими адгезионными характеристиками и меньшей толщиной наносубслоев его износостойкого слоя.

Библиография

1. Верещака А.А., Верещака А.С., Седых М.И. Режущие инструменты с модифицирующими износостойкими комплексами. М.: СТАНКИН, 2014. 195 с.
2. Сотова Е.С., Верещака А.А., Верещака А.С. Керамические режущие инструменты. М.: СТАНКИН, 2013. 149 с.
3. Vereschaka A. Development of assisted filtered cathodic vacuum arc deposition of nano-dispersed multi-layered composite coatings on cutting tools // Key Engineering Materials. 2014. V. 581 P. 62–67.
4. König W.G., Osterhaus K., Gerschwiller U.A. Kuhlsmierstoff-Eine Ökologische Herausforderung an die Fertigungstechnik // Wettbewerbsfaktor Produktionstechnik – Aachener Perspektiven. Hrsg.: AWK Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1993.
5. Vereschaka A.S., Grigoriev S.N., Sotova E.S., Vereschaka A.A. Improving the efficiency of the cutting tools made of mixed ceramics by applying modifying nano-scale multilayered coatings // Advanced Materials Research. 2013. V. 712–715. P. 391–394.
6. Vereschaka A.A., Vereschaka A.S., Anikeev A.I. Carbide tools with nano-dispersed coating for high-performance cutting of hard-to-cut materials // Advanced Materials Research. 2014. V. 871. P. 164–170.
7. Vereshchaka A.S., Karpuschewski B., Dubner L.. Development of the method of obtaining nanostructured functional coatings // Proceedings of the Intern. Scient. Conf. «Production. Technology». 2008. V. 1. P. 62.
8. Верещака А.С., Бубликов Ю.И. Модификация поверхностных свойств инструментальных материалов как важный резерв их совершенствования // Известия КБГУ. 2013. Т. III, № 6. С. 9–12.
9. Верещака А.С., Верещака А.А., Булычева А.И. Многослойные нанодисперсные покрытия для режущего инструмента // Упрочняющие технологии и покрытия. 2014. № 5. С. 33–39.
10. Vereshchaka A.A., Sotova E.S., Batako A.D., Sedykh M.I., Vereshchaka A.S. A study of the cutting properties and wear mechanism of ceramic edge tools with nanostructure multilayer composite coatings // Journal of Friction and Wear. 2014. V. 35, N 6. P. 483–488.
11. Sablev L.P., Andreev A.A., Kunchenko V.V., Grigoriev S.N. Vacuum-arc evaporator of metals with an extended planar cathode // Proceedings of Materials Science Forum. 1998. P. 323–326.
12. Vereschaka A.S., Vereschaka A.A., Savushkin G.Ju., Sivenkov A.S. Multilayered nano-scale coatings for cutting tool // Inorganic Materials: Applied Research. 2014. V. 5, N 5. P. 522–529.
13. Vereschaka A.S., Vereschaka A.A., Migranov M.Sh. The study wear resistance of the modified surface of the cutting tool // Applied Mechanics and Materials V. 2014. P. 548–549, 417–421.
14. Vereshchaka A.A., Vereshchaka A.S., Mgaloblishvili O., Morgan M.N., Batako A.D. Nano-scale multilayered-composite coatings for the cutting tools // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2014. V. 72, N 1. P. 303–317.

ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОЦЕССА АССИСТИРУЕМОГО ФИЛЬТРУЕМОГО ВАКУУМНО-ДУГОВОГО ОСАЖДЕНИЯ

Верещака А.А.

ИКТИ РАН

dr_averes@rambler.ru

Нанодисперсные многослойные покрытия были получены и исследованы при ассистирующем импульсном воздействии энергетических ионов осаждаемого конденсата, генерируемых при использовании процесса ассистируемого фильтруемого катодно-вакуумно-дугового осаждения. Установлена модификация свойств покрытий TiN, Ti-TiN-TiAlN и Zr-ZrN-ZrAlN, осаждаемых на твёрдосплавные пластины ВК10ХОМ ТТ10К8Б, при ассистирующем воздействии ионов Cr, при изменении напряжения ускорения ионов в пределах 10–40 кВ. Рассмотрены механизмы модификации свойств осаждаемых покрытий и повышения режущих свойств твёрдосплавных пластин с покрытиями, полученных при ассистирующем катодно-вакуумно-дуговом осаждении.

Ключевые слова: процесс ассистируемого фильтруемого вакуумно-дугового осаждения, ионная имплантация, износостойкие покрытия.

EQUIPMENT AND TECHNOLOGY OF ASSISTED FILTERABLE VACUUM ARC DEPOSITION

Vereshaka A.A.

IDTI RAS

It is establish the positive change of key properties of coating deposited on carbide inserts WC/CrC/Co, WC/(Co-Re), TiC/TaC/Co at assisted impact of ions Cr at ion acceleration voltage within the range of 10–40 kV. The mechanisms of the effect of modified properties of coatings formed in assisting the filtered cathodic vacuum arc deposition on the properties of the carbide inserts in cutting structural steels and hard-to-cut nickel alloys have confirmed the high efficiency of the deposition process developed coatings and coating compositions.

Keywords: assisted filtered cathodic-vacuum-arc deposition, ion implantation, wear-resistant coatings.

Исследования последних лет показали [1–10], что бомбардировка высокоэнергетичными ионами воздействует не только на электрические свойства твердого тела, но и на большое количество других физических и химических свойств приповерхностных слоев как самого покрытия, так и субстрата (инструментального материала). Вследствие этого ионная имплантация делает возможным образование граничных слоев с параметрами, которые отличаются от параметров субстрата. В качестве субстратов в этом случае возможно использование не только металлов, но и керамики, стекла и полимеров. Для реализации разработанных процессов было предложено специальное оборудование и технологии, рассматриваемые ниже:

Оборудование. Для реализации методологии ассистирующего осаждения покрытия разработана установка ВИТ-3, оснащенная источником высокоэнергетических ионов (имплантор). Установка создана при научно-техническом сотрудничестве ИКТИ РАН, МГТУ «СТАНКИН», НПК «Фирма ЭКОТЕК», РНЦ «Курчатовский институт». Принципиальная схема процесса, названного ассистирующе-фильтрующим вакуумно-дуговым осаждением (АФВДО), и общий вид источника высокоэнергетических ионов и его принципиальная электрическая схема показаны на рис. 1, 2.

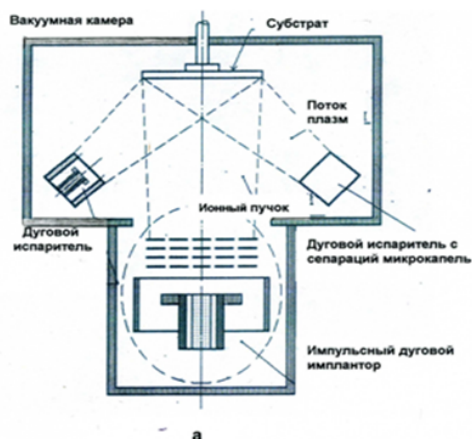


Рис. 1. Принципиальная схема процесса АФВДО

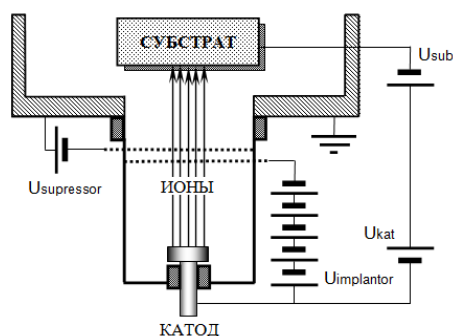
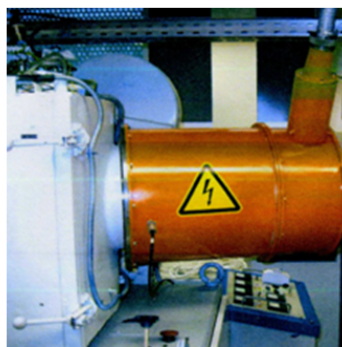


Рис. 2. Общий вид источника высокоэнергетических ионов и его принципиальная электрическая схема

Установка ВИТ-3 позволяет осуществлять следующие процессы:

- производить электронное термоактивирование режущего инструмента вне зависимости от его массы в камере;
- производить ионную очистку инструмента сепарированной газовой, газо-металлической или металлической плазмой с полным гашением микродуг, что предотвращает электроэрозионное растравливание режущих кромок и поверхностей инструмента;
- синтезировать покрытия монослойного, многослойного, композиционного, многослойно-композиционного типов при использовании отфильтрованных ионных потоков, что существенно повышает качество покрытий и прочность адгезии на границах системы «покрытие–субстрат»; формировать multifunctional wear-resistant complexes (ИК), состоящие из адгезионного подслоя (3), промежуточного (2) и износостойкого (1) слоёв с управляемым составом, структурой и свойствами.

Технические данные устройства высокоэнергетических ионов:

Тип ионов:	металлы
Метод генерации плазмы:	дуговой разряд
Ускоряющее напряжение, kV:	1..40
Величина заряда ионов:	1..5
Ускоряющее напряжение сетки, kV:	до 30
Длительность импульса ионного пучка, μ s:	100..600
Частота импульсов, Hz:	1..100
Средняя сила тока ионного пучка, mA:	до 30
Импульсный ток, A:	до 10
Максимальная энергия ионов, keV:	200
Апертура пучка на ускоряющей сетке, мм:	80
Апертура пучка на расстоянии 250 мм от сетки, мм:	300

Исследования режущих свойств. В табл. 1 представлены варьируемые параметры и свойства для исследований твердосплавных образцов с покрытием, полученным при использовании процесса АФВДО.

Таблица 1

Параметры нанесения покрытия и его свойства для серии образцов СМП И1-И4

Образец	U_{IMP} [кВ]	U_{AO} [кВ]	d_s [мкм]	$HV_{0,05}$	$HV_{0,2}$	$H_{ind, 140nm}$ ГПа	$E_{r, 140nm}$ ГПа	Адгезия покрытия **
И1	0	0	3,3	2157	1805	29,7	456,6	Слабая
И2	20	20	3,1	2438	1938	29,5	427,5	Средняя
И3	20	30	3,8	2373	1938	32,8	462,4	Очень сильная
И4	20	40	3,4	2194	2035	35,4	426,1	Очень сильная

* U_{IMP} , U_{AO} – ускоряющее напряжение при имплантации до и во время осаждения покрытия соответственно; h_{II} – толщина покрытия; твердость по Виккерсу ($HV_{0,05}$, $HV_{0,2}$); микротвердость ($H_{ind, 140nm}$) и модуль упругости ($E_{r, 140nm}$) при глубине пластического внедрения индентора 140 нм. ** – адгезия оценивалась по отпечатку индентора по Виккерсу ($HV_{0,2}$)

Проведены выборочные аттестационные исследования СМП из сплава ТТ10К8Б с покрытием TiN , полученным при использовании процесса АФВДО (табл. 2) при точении стали 45 HB200.

Результаты аттестационных испытаний СМП с покрытием (АФВДО) приведены на рис. 3 и 4.

Варианты покрытий TiN, нанесенных на СМП из сплава ТТ10К8Б

Образцы СМП	Описание обработки
ТТ10К8Б	Контрольная СМП
ТТ10К8Б -TiN (КИБ-MeVVA)	СМП со стандартным покрытием TiN (КИБ-MeVVA)
ТТ10К8Б-TiN (АФВДО)	СМП с покрытием TiN (процесс АФВДО)
ТТ10К8Б-TiN (И.И. Cr, АФВДО)	СМП с покрытием TiN (ИИ Cr, нанесение покрытия с использованием процесса АФВДО)

* ИИ – имплантация ионов хрома с энергиями $U_{OA} = 20$ кВ

Установлено влияние параметров процесса АФВДО на свойства СМП (рис. 3, 4) и, соответственно, на режущие свойства инструмента. Износ СМП с покрытием TiN, формируемым при использовании вариантов процесса АФВДО, исследован в зависимостях на рис. 3, 4. СМП с покрытием TiN (процесс АФВДО) имели более высокие режущие свойства в сравнении с СМП со стандартным TiN покрытием. Лучшие результаты по стойкости показали СМП, подвергнутые обработке высокоэнергетическими ионами Cr и АФВДО обработке.

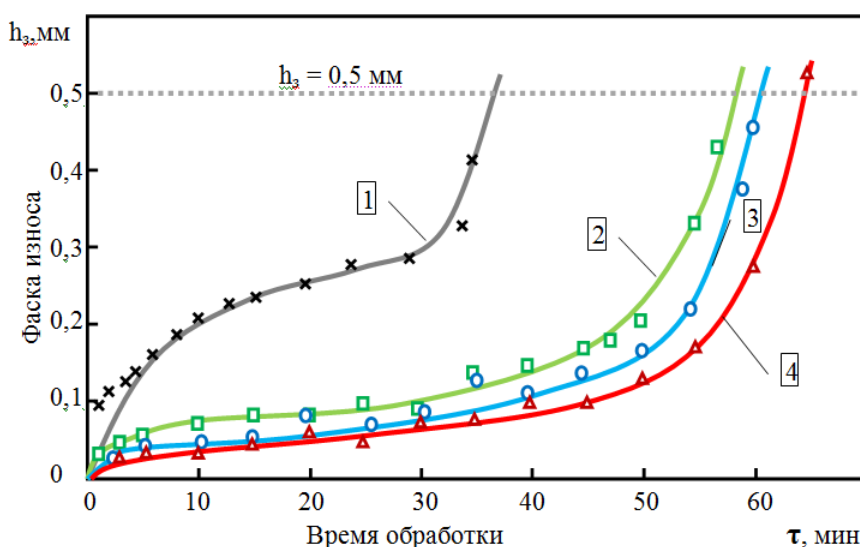


Рис. 3. Функция «износ–время» (по VB) для твердосплавных пластин, подвергнутых имплантации высокоэнергетических металлических ионов:
1 – ТТ10К8Б; 2 – ТТ10К8Б-TiN (КИБ-MeVVA); 3 – ТТ10К8Б-TiN (АФВДО); 4 – TiN (ИИ-АФВДО-ИИ)

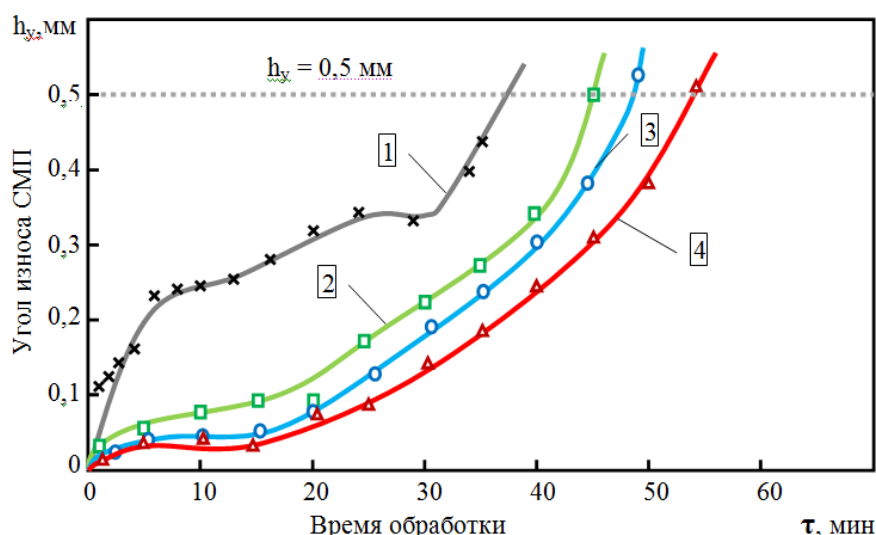


Рис. 4. Функция «износ–время» (для VB_E) твердосплавных пластин, подвергнутых имплантации высокоэнергетических металлических ионов (обозначение 1–4 на рис. 3)

Обсуждение результатов исследования. Как показано в табл. 1, толщина покрытия для всех образцов почти одинаковая. С ростом ускоряющего напряжения U_{OA} , особенно до $U_{OA} = 30$ кВ, значительно увеличиваются твердость и модуль упругости покрытий (при глубине внедрения наноиндентора 140 нм). Если при увеличении ускоряющего напряжения U_{OA} до 30 кВ, упрочняется только приповерхностная область покрытия TiN, то при больших напряжениях, достигающих 40 кВ, увеличение твердости фиксируется уже на глубине покрытия в 1 мкм.

Рентгеноструктурные исследования (XRD-исследования) показали, что все исследуемые образцы (И1-И4) обладают структурой кристаллической решетки $\langle 111 \rangle$, что является типичным для большинства покрытий (процессы **КИБ-MeVVA**), подвергнутых ионной имплантации. Результаты рентгеновского (XSA) анализа остаточных напряжений как для текстуры $\langle 111 \rangle$, так и для текстуры $\langle 220 \rangle$ позволяют отметить, что с увеличением энергии имплантируемых для процесса **АФВДО** ионов **Cr** в покрытие **TiN** увеличивается уровень остаточных напряжений сжатия. Известно, что остаточные микронапряжения сжатия оказывают благоприятное влияние на работоспособность и долговечность покрытий на контактных площадках инструмента, так как препятствуют образованию микротрещин в покрытии и, таким образом, положительно влияют на стойкость инструмента.

Сильная зависимость между микроскопическими структурными параметрами внутренних напряжений и макроскопическими механическими свойствами (твердость и модуль упругости) является давно известным фактом. Вследствие этого результаты XSA-анализа хорошо коррелируются с результатами измерений на нанотесторе.

Ускоряющее напряжение процесса **АФВДО** оказывает сильное влияние и на прочность адгезии в системе «покрытие–субстрат». При $U_{OA} = 20$ кВ достигается высокая прочность адгезии покрытия **TiN**, но оно имеет недостаточную твердость, и стойкость инструмента с подобным покрытием мало отличается от стойкости инструмента со стандартным покрытием **TiN**. При увеличении ускоряющего напряжения U_{OA} до 40 кВ отмечается максимальная твердость покрытия, но из-за больших внутренних напряжений, формируемых в покрытии при этих напряжениях, прочность адгезии покрытия недостаточна, и стойкость инструмента увеличивается лишь незначительно. Наилучшие результаты обеспечивают СМП с покрытием **TiN**, сформированным при $U_{OA} = 30$ кВ, так как в этих условиях формируется покрытие со сбалансированным сочетанием «твердость–прочность адгезии», что наиболее благоприятно сказывается на повышении стойкости инструмента.

Проведенные исследования демонстрируют, что комбинирование процессов вакуумно-дугового осаждения покрытий с процессами ионного имплантирования элементов является чрезвычайно перспективным для реализации целого ряда эффектов при формировании инновационных типов покрытий для режущего инструмента на основе: упрочняющих твердых растворов; слоев, градуированных по типам связей; метастабильных систем и однородной металлоидной структуры, многофазных слоев и нанодисперсной структуры и т.д.

Библиография

1. Panckow A., Sladkov D., Singh P.K., Genzel C. Low-temperature metal ion implantation assisted deposition of hard coatings // *Surf. Coat. Technol.* 2004. P. 188–189.
2. Vereshchaka A.S., Obrezkov O.I., Dubner L. Development of technology for the synthesis of vacuum arc coating assisting by a high-energy ions // *Proceedings of the Int. Scient. Conf. «Protec-02»*. 2002. V. 1. P. 139.
3. Верещака А.С., Верещака А.А. Функциональные покрытия для режущего инструмента // *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2010. № 6. С. 28–43.
4. Vereschaka A.S., Vereschaka A.A., Kirillov A.K. Ecologically friendly dry machining by cutting tool from layered composition ceramic with nano-scale multilayered coating // *Key Eng. Materials*. 2012. V. 496. P. 67.
5. Metel A., Grigoriev S., Melnik Y. Cutting tools nitriding in plasma produced by a fast neutral molecule beam // *Japanese Journal of Applied Physics*. 2011. V 50, N 8.
6. Grigoriev S.N., Vereschaka A.A., Vereschaka A.S., Kutin A.A. Cutting tools made of layered composite ceramics with nano-scale multilayered coatings // *Procedia CIRP* 1. 2012. P. 318–323.
7. Genzel Ch. Diffraction analysis of the microstructure of materials // *Springer series in material science*. B. 68. 2004. P. 473
8. Fox-Robinovich G.S., Kovalev A., Aguirre M.H. Design and performance of AlNiN and TiAlCrN PVD coating for machining hard to cut materials // *Surf. Coat. Technol.* 2009. V. 204. P. 489.
9. Metel A.S., Grigoriev C.N., Melnik Yu.A. Glow discharge with electrostatic confinement of electrons in a chamber bombardment by fast electrons // *Plasma Physics Reports*. 2011. V. 37, N 7. P. 628.
10. Vereshchaka A.S., Karpuschewski B., Dubner L. Development of the method of obtaining nanostructured functional coatings // *Proceedings of the Intern. Scient. Conf. «Production. Technology»*. 2008. V. 1. P. 62.

ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЛИСТА И РАСЧЕТ ЕГО ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА

^{*}Тлибеков А.Х.¹, Яхутлов М.М.²

¹ООО «Weber Engineering»

²Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова

^{*}tlibekov@weber.ru

Рассмотрена ситуация, которая часто возникает в практике проектирования производства: выбранное оборудование не позволяет эффективно изготовить заданную программу деталей, и рассчитанное его количество не оптимально. Приведены рекомендации, позволяющие определить наиболее рациональный способ изготовления деталей из листа, и методика расчета оптимального количества оборудования.

Ключевые слова: штамповка, резка лазером, свободная гибка, станкостроительная, подготовительно-заключительное время.

SELECTION OF EQUIPMENT FOR MANUFACTURING DETAILS FROM THE WORKSHEET AND CALCULATION OF ITS OPTIMAL NUMBER

Tlibekov A.Kh., Yakhutlov M.M.

¹ООО «Weber Engineering»

² Kabardino-Balkarian State University

Considered the situation, that often arises in the practice of design production: the selected equipment can't manufacture specified number of details and his number is not optimal. Given methodological guidance, that helps to find a rational way of production the parts from the sheet materials and calculate optimal number of equipment.

Keywords: punching, laser cutting, bending, working time, set-up time.

Введение. Номенклатура, программа производства деталей, их конструкция и марки материалов определяют наиболее рациональный способ изготовления и оптимальное количество оборудования.

Производство деталей из листа считается единичным, когда годовая программа изготовления одной детали не превышает 5 тыс. шт., мелкосерийным – 60 тыс. шт. и при этом номенклатура деталей не менее 120 наименований. В этих условиях время переналадки (подготовительно-заключительное время, затрачиваемое для переналадки оборудования за год эксплуатации) оборудования становится соизмеримым с технологической станкостроительностью (Сумма основного и вспомогательного времени изготовления детали, умноженная на количество деталей, изготавливаемых в год) и определяет количество оборудования, необходимое для изготовления годовой программы деталей. Уменьшить число переналадок возможно, если изготавливать годовую программу детали за одну наладку оборудования. Однако при этом значительно возрастают затраты на хранение деталей (площадь складов, автоматизация учета производственных заделов, транспортирование партий деталей от склада на другие операции технологического процесса и т.д.).

Когда назначены наиболее технологичные способы изготовления деталей, но количества оборудования недостаточно для их изготовления в одну смену, организуют вторую и третью смены. Это увеличивает затраты на оплату труда производственных рабочих, электроэнергию и др. С другой стороны, избыточное количество оборудования увеличивает себестоимость производства. В обоих случаях издержки выше, чем объективно необходимые. Поэтому при проектировании производства важно точно выполнить его нормирование, т.е. рассчитать время на переналадку оборудования и технологическую станкостроительность, затрачиваемые на изготовление годовой программы деталей. От результата нормирования зависят количество оборудования и коэффициенты его загрузки.

Наиболее распространенная методика нормирования, которую используют многие инженеринговые компании, основана на формировании из всей номенклатуры деталей перечня деталей-представителей. Предварительное нормирование деталей-представителей выполняется с использованием различных САМ-систем. Затем через «коэффициенты приведения» проводится пересчет норм времени на всю номенклатуру и программу деталей и выполняется расчет количества оборудования. В дальнейшем, на этапе опытной эксплуатации спроектированного производства результаты нормирования могут уточняться, но закупленное оборудование уже работает, капиталовложения сделаны.

С другой стороны, чтобы точно рассчитать количество оборудования, требуется выполнить моделирование в САМ-системе обработки всей номенклатуры деталей, а это длительный процесс. Сроки выполнения проекта становятся недопустимо большими.

Предлагаемая методика выбора рационального способа изготовления деталей из листа и расчета оптимального количества оборудования основана на опыте компании «Вебер Инжиниринг» (www.weber-engineering.ru), приобретенном при проектировании производств [1–4].

Выбор рационального способа изготовления детали. Особенностью мелкосерийного листоштамповочного производства является неполное использование стойкости штампов. Средняя промежуточная стойкость вырубного штампа (количество циклов между переточками) достигает 10 тыс., полная стойкость вырубного штампа – около 50 тыс. циклов. Штамповка небольшой годовой программы деталей не окупает затраты на изготовление штампа, а его хранение на складе целесообразно только в том случае, когда деталь, для которой он предназначен, будет изготавливаться и в последующие годы. Поэтому преимущественно должны использоваться процессы без использования штампов (лазерная, плазменная, гидроабразивная резка) или использующие минимальный стандартизованный комплект инструменты (штамповка на координатно-револьверных прессах, свободная гибка).

Детали с годовой программой до 10 тыс. шт., которые можно изготовить из листов с максимальным размером 1500 x 3000 мм и толщиной до 20 мм, рационально вырезать на машинах для лазерной резки. Материалы листа – стали любых марок, бронза, медь, алюминиевые сплавы. Газокислородная и плазменная резка листа при толщине до 10 мм значительно уступают по производительности и точности лазерной резке (рис. 1).

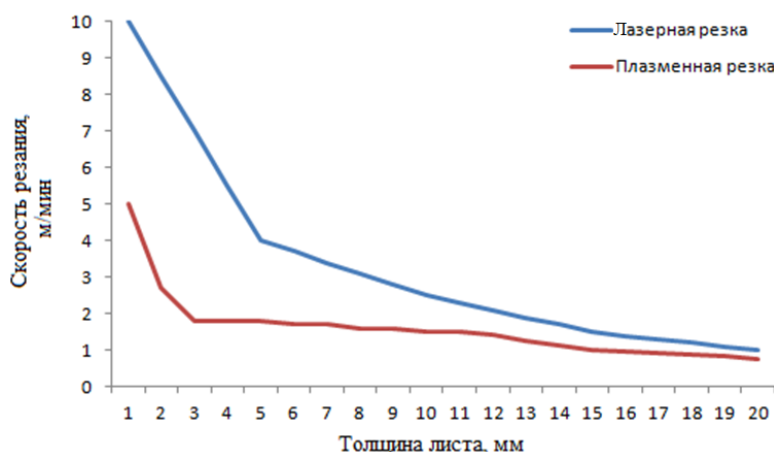


Рис. 1. Сравнение скорости плазменной и лазерной резки листа толщиной до 20 мм.
Материал разрезаемого листа – низкоуглеродистая сталь

Изготовление деталей из листа толщиной от 20 до 70 мм целесообразно выполнять на оборудовании резки листа с плазменной 3D-головкой; из листа толщиной от 70 и более мм – на оборудовании с автогенной 2D-головкой. Использование плазменной 3D-головки позволит предварительно обрабатывать фаски всех видов. В результате, припуск на обработку фасок на кромкофрезерных и кромкострогальных станках, значительно уменьшится, а производительность увеличится.

Резка деталей из неметаллических материалов, в особенности из текстолита, стеклотекстолита, гетинакса, приводит к выделению вредных продуктов горения, для удаления которых машина лазерной резки должна быть оснащена специальной системой вытяжки. Кроме того, детали из этих материалов после лазерной резки приобретают по контуру и в отверстиях выжженный слой глубиной до 2–2,5 мм (рис. 2), который, как правило, не допускается техническими требованиями. Такие детали толщиной до 6 мм целесообразно изготавливать на координатно-револьверном прессе. Максимальная годовая программа детали, изготавливаемой на координатно-револьверном прессе, не должна превышать 200 тыс. шт. Детали с большей программой целесообразно изготавливать в штампах.

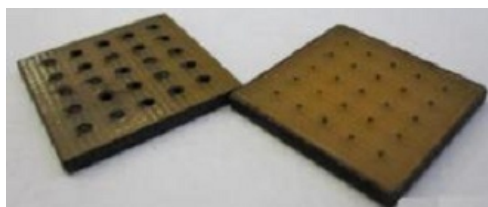


Рис. 2. Технологические пробы деталей из гетинакса, изготовленные резкой лазером

Штамповку деталей с годовой программой от 2 млн и выше, конструкция которых требует использования для их изготовления вырубных или комбинированных штампов последовательного действия, целесообразно производить из ленты на листоштамповочных комплексах. Максимальная толщина ленты – 2,6 мм.

Детали, для изготовления которых требуются операции «выдавливание», «вырубка», «вытяжка», «гибка», «зачистка», «клеямение», «надрезка», «обрезка», «отбортовка», «правка», «просечка», «разрезка», «рельефная формовка» и др., должны изготавливаться в штампах последовательного или совмещенного действия на кривошипных или гидравлических прессах.

Резка листа на гильотинных ножницах – наиболее производительный процесс раскроя листа. Использование гильотинных ножниц для изготовления деталей толщиной до 20 мм, наружный контур которых образован прямыми линиями, позволит значительно повысить производительность, но для этого гильотинные ножницы должны быть оснащены устройством базирования листа под углом. Программа деталей – около 15 тыс. шт. в год.

Формоизменяющие операции листовой штамповки, такие как «гибка» и «формовка» больших радиусов (8 и более толщин листа), выполняются на прессах для свободной гибки с использованием стандартизованного комплекта инструмента. Годовая номенклатура деталей, закрепленная за одним прессом, не должна превышать 300 наименований, максимальная годовая программа детали – 10 тыс. шт.

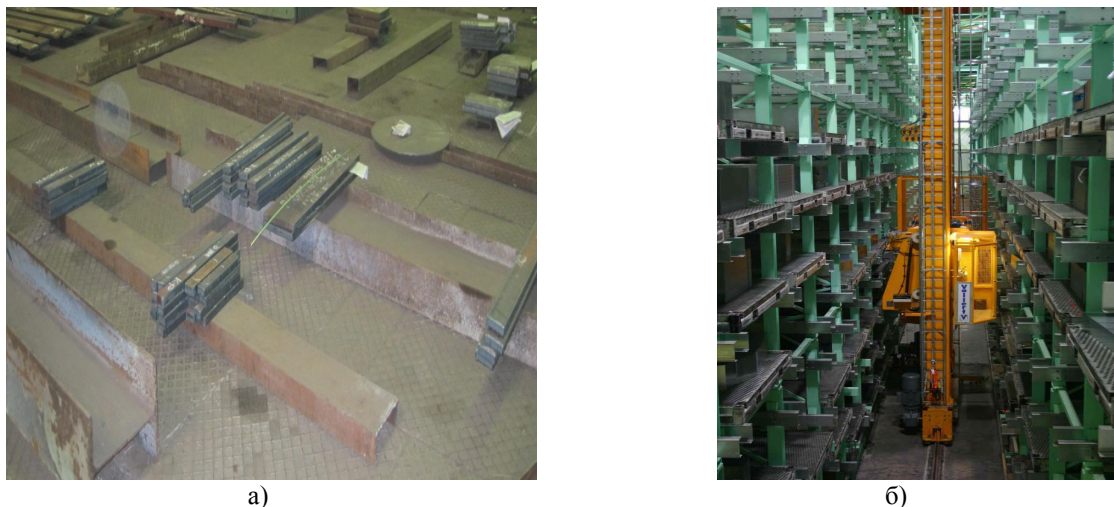


Рис. 3. Складирование деталей: а – на полу цеха; б – в автоматизированном складе

Расчет подготовительно-заключительного времени. Подготовительно-заключительное время зависит от количества переналадок оборудования для изготовления партии обработки деталей. Оптимальная партия обработки деталей $N_i^{\text{опт}}$ не должна быть меньше количества деталей, необходимых для изготовления одного изделия и не должна превышать количество деталей N_i , заданного производственной программой изделий (включая комплекты поставки и запчасти). Уменьшение партии обработки, относительно оптимальной, увеличивает время на переналадку и связанные с ним затраты, увеличение – увеличивает затраты на хранение деталей.

Оптимальная партия обработки деталей соответствует минимуму затрат на переналадку и хранение (рис. 4): $3_i = 3_{\text{п}i} + 3_{\text{х}i} \rightarrow \min$.

Время переналадки для изготовления программы деталей равно

$$T_n = t_n \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{N_i^{\text{опт}}},$$

где n – номенклатура (количество наименований) деталей, закрепленная за данной моделью оборудования; t_n – время одной переналадки оборудования.

Площадь участков под складирование не должна превышать 20–25 % от общей площади цеха. Такое соотношение площадей вполне рационально. Однако увеличение производственной программы влечет за собой увеличение площади участков под складирование (рис. 3а).

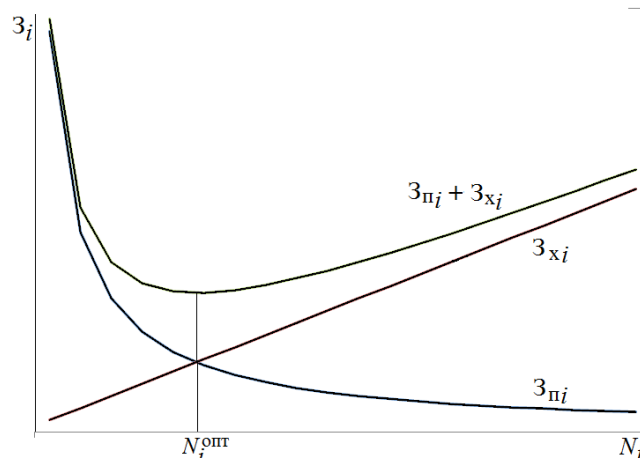


Рис. 4. Определение оптимальной партии обработки детали ($N_i^{\text{опт}}$) одного наименования по минимуму затрат на переналадку оборудования ($3_{\text{п}i}$) и хранение деталей ($3_{\text{х}i}$)

Кроме того, в результате внедрения нового оборудования производительность, как правило, увеличивается, а площадь под оборудованием уменьшается, и соотношение площадей, занятых складированием заготовок и деталей

и общей площадью цеха, окажется нерациональной. Чтобы исключить потери производственных площадей, переводя их в площади под складирование, необходимо использовать автоматизированную складскую систему (рис. 3б). Кроме многоярусного складирования, автоматизированного поиска и доставки, такая система обеспечит учет листов и изготовленных деталей. Автоматизированные склады должны использоваться также и для хранения межоперационных заделов и готовых деталей, уложенных в тару или на поддоне и для хранения штампов, инструмента для координатно-револьверных прессов и прессов для свободной гибки.

Станкоёмкость. Различают технологическую станкоёмкость ($T_{техн}$) и общую станкоёмкость (T):

$$T_{техн} = \sum_{i=1}^n (t_{oi} + t_{ai}) N_i,$$

$$T = T_{техн} + T_n,$$

где t_{oi} – основное и t_{ai} – вспомогательное время обработки одной детали, которое можно рассчитать, используя специальные САМ-системы (для моделирования обработки, разработки управляющей программы и нормирования операций на машинах для лазерного раскроя, координатно-револьверных прессах и прессах для свободной гибки листа нами используется САМ – система «Cadman», разработанная компанией LVD (Бельгия). Представителем компании LVD в России является ООО «Вебер Комеханикс», www.weber.ru).

В процессе проектирования новых и модернизации существующих машиностроительных производств нами используется методика расчета времени обработки, основанная на аппроксимации расчетных его значений дробно-степенными рядами. С этой целью разработана компьютерная программа, реализующая комбинированный генетический алгоритм [5, 6].

Оценку точности аппроксимации проведем с использованием результатов ранее выполненных проектов.

На начальном этапе проектирования создавались электронные базы, в которые записывались параметры деталей, используемые в том числе и для расчета времени обработки на координатно-пробивном прессе (количество ударов и количество смен инструмента), на прессе для свободной гибки (масса детали, количество линий гибки и максимальная высота полки) и на комплексе лазерного раскроя листа (толщина листа, периметр внутренних и наружных контуров, предел прочности при растяжении материала детали и количество врезок).

Из всей номенклатуры деталей n было выбрано $k < n$ деталей (выборка из генеральной совокупности), для которых в САМ-системе «Cadman» рассчитали основное и вспомогательное время обработки детали. Аппроксимацию выполняли по k – рассчитанным значениям времени обработки и соответствующим ему параметрам деталей из электронной базы. В результате аппроксимации получали коэффициенты и показатели степени аппроксимирующего полинома. Время обработки деталей всей номенклатуры и технологическую станкоёмкость рассчитывали по аппроксимирующему полиному. Погрешность аппроксимации оценивали по формуле:

$$\varepsilon = \frac{T_{техн}^{апп} - T_{техн}^{пр}}{T_{техн}^{пр}},$$

где $T_{техн}^{апп}$ – технологическая станкоёмкость обработки, полученная в результате эксплуатации оборудования; $T_{техн}^{пр}$ – технологическая станкоёмкость, рассчитанная по аппроксимирующему полиному.

На гистограммах рис. 5 показано количество деталей и погрешность аппроксимации (ε , %) основного и вспомогательного времени их обработки, в таблице – погрешность аппроксимации технологической станкоёмкости и время вычисления (t , мин) на компьютере с процессором Inter® Core™ i7-3630QM CPU @ 2.40 GHz 2.40 GHz и ОЗУ 16,0 ГБ.

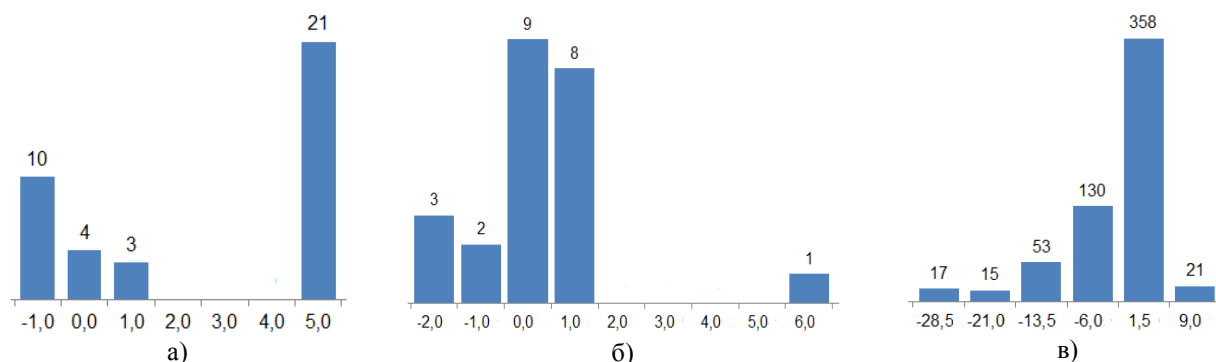


Рис. 5. Гистограммы погрешности аппроксимации времени обработки деталей (%) на координатно-револьверном прессе (а), прессе для свободной гибки (б) и резки лазером по выборке из 15 деталей (в)

Результаты оценки точности аппроксимации

Технологический процесс и оборудование компании LVD (Бельгия)	Показатели реализованного проекта		Показатели аппроксимации		ε, %	t, мин
	n	$T_{техн}^{пр}$	k	$T_{техн}^{апп}$		
Штамповка на координатно-револьверном прессе Strippit V-30 1225	38	572,5	7	592,09	3,42	26,9
Свободная гибка на прессе PPEB-EFL 80/15	23	1111,29	4	1105,43	-0,53	2,8
Резка лазером на комплексе лазерного раскроя модели Axel-S Liner 3015	594	5434,81	15	5129,21	-5,62	33,8

Количество оборудования рассчитывается по формуле:

$$C_m = \frac{T}{\Phi_{об}}$$

и округляется до ближайшего большего значения C , где $\Phi_{об}$ – эффективный годовой фонд времени единицы оборудования при принятой сменности работы.

Затем рассчитываются коэффициенты загрузки и использования оборудования:

$$K_z = \frac{T_{техн}}{C\Phi_{об}}, \quad K_{и} = \frac{T}{C\Phi_{об}},$$

значения которых не должно быть больше единицы. Если один или оба коэффициента получаются больше единицы, необходимо увеличивать количество оборудования.

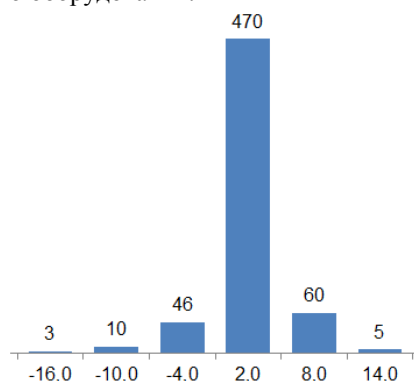


Рис. 6. Гистограмма погрешности аппроксимации времени резки лазером (%) по выборке из 38 деталей

Заключение. Важная задача проектирования состоит в назначении методов обработки, учитывающих не только конструкцию детали и свойства ее материала, но и их производственную программу и номенклатуру. Универсальных рекомендаций, позволяющих выбрать наиболее рациональные методы обработки, не существует. Достоверно можно утверждать, что оптимальное количество оборудования определяется по результатам точного расчета подготовительно-заключительного времени изготовления производственной программы деталей и технологической станкоемкости. Использование различных экспертных знаний, или, другими словами, «субъективных оценок», для расчета времени изготовления деталей приводит, как правило, к закупке предприятием избыточного количества оборудования.

Подготовительно-заключительное время должно рассчитываться исходя из минимума суммарных затрат на переналадку оборудования и хранение деталей. Это задача решается поиском оптимального количества деталей в партии обработки, основанным на комбинированном генетическом алгоритме.

Использование компьютерных программ для аппроксимации времени обработки позволяет выполнить его расчеты с погрешностью, допустимой для практического использования, и значительно сокращает длительность проектирования. При этом, моделирование обработки в специальных САМ-системах с целью точного расчета времени обработки может выполняться для небольшой части деталей. В наших случаях (таблица) для нормирования штамповки на координатно-револьверном прессе из всей номенклатуры деталей расчет в САМ-системе был выполнен только для 18 % деталей; для свободной гибки рассчитано время обработки 17 %, а для резки лазером – 2,5 % деталей. При этом, погрешность аппроксимации технологической станкоемкости не превысила 6 %. Если использовать для аппроксимации большую выборку из генеральной совокупности деталей, можно значительно повысить точность расчетов: для аппроксимации основного и вспомогательного времени изготовления деталей на комплексе лазерного раскроя использовали выборку из $k = 38$ деталей, или 6,4 % от номенклатуры. Погрешность расчета станкоемкости не превысила 0,5 %, а погрешность расчета основного и вспомогательного времени для 80 % деталей составила 2 % (рис. 6).

Библиография

1. Тлибеков А.Х. Эффективность проекта производства деталей из листа // *Металлообработка*. 2012. № 3 (69). С. 46–52.
2. Тлибеков А.Х. Проектирование обработки деталей из листа. Технология и эффективность // *Металлургия машиностроения*. 2012. № 4. С. 33–38.
3. Тлибеков А.Х. Анализ потерь заготовительного производства при обработке листа // *Экспозиция металлообработки*. 2013. №1. С. 58–60.
4. Тлибеков А.Х. Проектирование производства деталей из листа: технология и эффективность // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением*. 2013. № 1. С. 40–46.
5. Тлибеков А.Х. Моделирование времени обработки деталей из листа с использованием дробно-степенных рядов и генетического алгоритма // *Металлообработка*. 2013. №1(73). С. 27–32.
6. Тлибеков А.Х., Яхутлов М.М. Разработка и тестирование комбинированного генетического алгоритма для решения задач математического программирования // *Известия КБГУ*. 2014. Т. IV, № 5. С. 68–72.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШПИНДЕЛЬНОГО УЗЛА

*Сабиров Ф.С.¹, Кочинев Н.А.², Шемякин С.С.¹

¹МГТУ «СТАНКИН»

²Экспериментальный научно-исследовательский институт металлорежущих станков

*fanira5057@yandex.ru

Рассмотрены вопросы влияния на статическую и динамическую жесткость шпиндельного узла технологической оснастки в виде трехкулачкового патрона.

Ключевые слова: шпиндельный узел, динамические характеристики, трехкулачковый патрон, жесткость, податливость, АЧХ.

THE EFFECT OF MACHINING ATTACHMENTS ON THE DYNAMICS OF SPINDLE UNIT

Sabirov F.S.¹, Kochinev N.A.², Shemiakin S.S.¹

¹MSTU «STANKIN»

²Experimental Research Institute for Metal – cutting Machine Tools Joint Stock Company

Discusses the impact of static and dynamic rigidity of spindle Assembly of tooling in the form of three-jawed chuck.

Keywords: spindle unit, dynamic characteristics, three-jawed chuck, stiffness, compliance, frequency response.

Введение. Шпиндельный узел (ШУ) станка в значительной мере определяет динамическое качество станка в целом. Поэтому изучение динамических свойств ШУ является важной задачей как при проектировании, так и при эксплуатации станка [1–3].

Шпиндельный узел является самостоятельным элементом и при приемо-сдаточных испытаниях и должен оцениваться без дополнительной сменной технологической оснастки [4]. При этом решаются конфликты между поставщиком и заказчиком, но в процессе эксплуатации на узел навешивается различная технологическая оснастка для крепления детали или инструмента. Для токарных станков такой оснасткой чаще всего является патрон, который сам по себе представляет сложную динамическую систему, и может существенно менять характеристики ШУ.

Целью работы является исследование влияния трехкулачкового патрона токарного станка малых размеров на жесткостные и динамические характеристики упругой системы. Приведены результаты измерения жесткости и динамических характеристик, а также результаты моделирования узла.

Схема измерения статической жесткости показана на рис. 1.

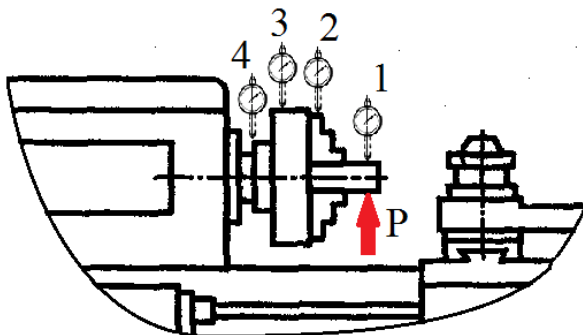


Рис. 1. Схема нагружения и измерения деформаций ШУ станка мод. D6000:

1 – заготовка, 2 – зажимной кулачок патрона,
3 – корпус трехкулачкового патрона, 4 – фланец шпинделя

Нагрузка прикладывалась к детали, зажатой в патроне, а деформации измерялись в точках 1...4 на детали, кулачках, патроне и фланце шпинделя. Значения податливостей в точках измерения даны в таблице.

Таблица

Результаты измерения податливости в различных точках шпиндельного узла

Точки измерений	Податливость, мкм/даН	Баланс, %	Расчет	Жесткость, даН/мкм
4-Фланец шпинделя	0.04	3	0.05	25.00
3-Корпус патрона	0.42	34		2.38
2-Кулачки	0.79	63		1.27
1-Заготовка	1.25	100		0.8

В третьей колонке дан баланс податливости по элементам, выполненный в соответствии с [5], из которого видно, что кулачки составляют 63 %, а патрон (корпус) 34 % в суммарной податливости на детали.

Результаты экспериментов. Экспериментальные динамические характеристики ШУ определялись методом импульсного нагружения [6]. Исследовался ШУ как с патроном и деталью, так и без патрона. Амплитудно-частотные характеристики для этих случаев показаны на рис. 2, 3.

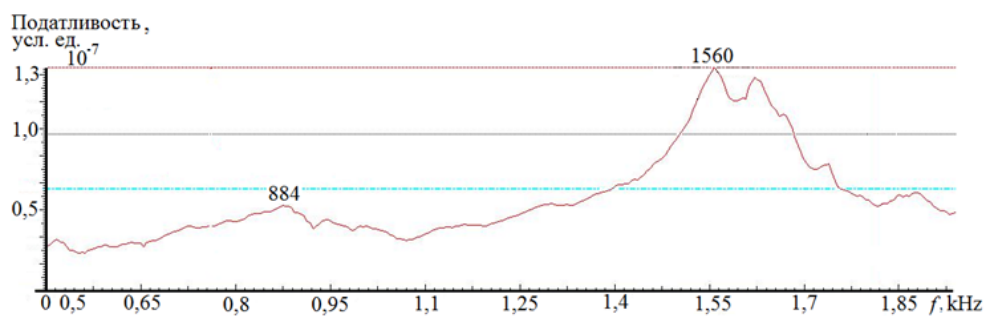


Рис. 2. АЧХ ШУ без патрона

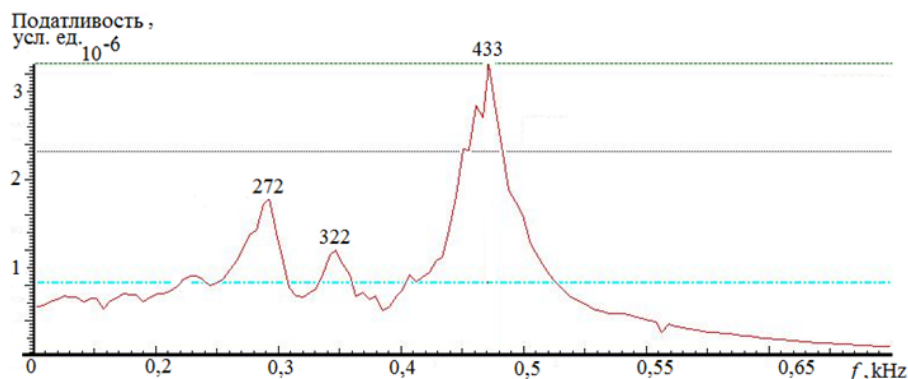


Рис. 3. АЧХ ШУ с патроном

Видно, что навешивание патрона кардинально меняет АЧХ. Если без патрона видны две резонансные частоты 884 и 1560 Гц, то наличие патрона снижает резонансные частоты до диапазона 270...430 Гц.

Результаты моделирования. Для прогнозирования динамических характеристик ШУ при обработке различных деталей, закрепленных в патроне, целесообразно сформировать расчетную модель ШУ, на которой можно варьировать различные наладки. Расчетную модель ШУ удобно строить в программе SpinDynaFE, разработанной в МГТУ Станкин [7–9]. Однако модель патрона до настоящего времени не применялась. Эта программа выполняет расчет статических и динамических характеристик одномерных балочных систем с центральной осью X вдоль длины балки. Возможна комбинация нескольких балок, имеющих единую центральную ось (например, гильзованные шпиндельные узлы) [10, 11]. Деформации рассчитываются в узловых точках, лежащих в радиальной плоскости (ХОУ), проходящей через центральную ось балки. Каждая узловая точка имеет две степени свободы – радиальное смещение Y и поворот вокруг оси Z, перпендикулярной плоскости ХОУ. Расчет выполняется методом конечных элементов. Элементы модели выбирают из следующего набора:

- пролет – участок балки (тела шпинделя), имеющий постоянное сечение, которое может быть произвольной формы с внецентренными отверстиями и пазами;
- опора – шпиндельный подшипник с радиальной и угловой жесткостью;
- масса – детали, закрепляемые на шпинделе жестко или через упругую связь;
- стык – упруго-демпфирующее соединение деталей.

Исходными данными для формирования модели являются эскиз ШУ с основными размерами, которые часто определяют непосредственным измерением объекта. Подробный чертеж не требуется.

Эскиз патрона показан на рис. 4а. Патрон состоит из корпуса 4, в котором закрепляется улитка 2, несущая кулачки 1.

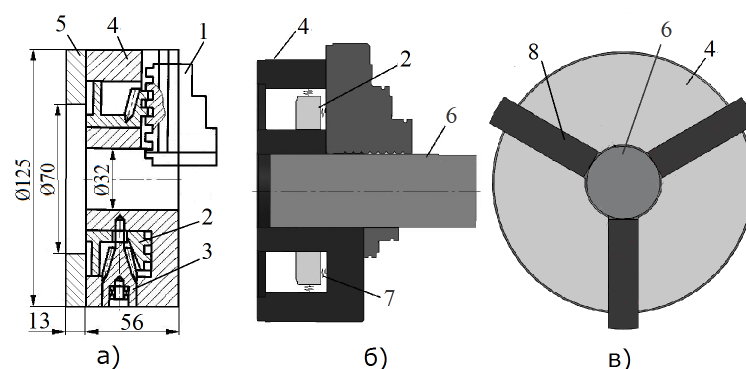


Рис. 4. Трехкулачковый патрон токарного станка мод. D6000: эскиз патрона (а), модель патрона (б), эквивалентная модель кулачков (в): 1 – кулачок, 2 – «улитка», 3 – зубчатое колесо, 4 – корпус, 5 – переходной фланец, 6 – заготовка, 7 – пружины, отражающие жесткость соединения «улиты» с кулачками, 8 – эквивалентные втулки

Расчетная модель патрона представлена на рис. 4б. Корпус патрона моделируется элементом – пролет (4), улитка 2 – также пролет с добавлением инерционной составляющей (масса и момент инерции). Наибольшую сложность представляет моделирование кулачков, так как в программе не предусмотрено 3D-моделирование. Предлагается заменить 3 кулачка втулкой-фланцем с эквивалентными моментами сопротивления. Сечение эквивалентной втулки показано на рис. 4в.

Элементы модели соединяются упруго-демпфирующими связями, параметры которых определяются на основе экспериментов.

На рис. 5 показаны расчетная (красная линия, 1) и экспериментальная (зеленая линия, 2) АЧХ ШУ без патрона.

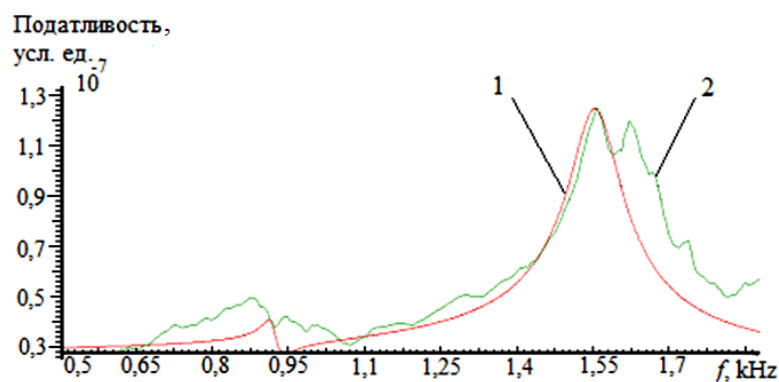


Рис. 5. Расчетная и экспериментальная АЧХ ШУ без патрона

На рис. 6 показаны экспериментальная и расчетная АЧХ ШУ с патроном и заготовкой.

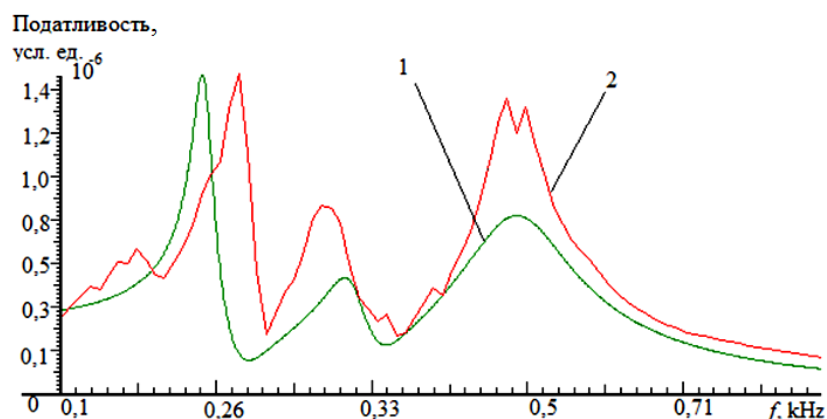


Рис. 6. Расчетная (1) и экспериментальная (2) АЧХ ШУ с патроном и заготовкой

Обсуждение. Таким образом, оснастка в виде, например, трехкулачкового патрона, существенно изменяет динамические характеристики шпиндельного узла. Представление патрона в динамической модели в виде сосредоточенной массы не всегда оправдано и может дать искаженные результаты расчета. Предлагаемая динамическая модель патрона больше приближена к реальным условиям и позволяет точнее идентифицировать инерционные и жесткостные параметры модели. Использование описанной методики моделирования помогает улучшить динами-

ческие характеристики ШУ при модернизации [12], а также способствует оперативной диагностике состояния подшипников ШУ [13].

Выводы:

1. Патрон оказывает кардинальное влияние на жесткость в зоне резания по сравнению с жесткостью на фланце. При жесткости на фланце 25 даН/мкм жесткость на детали составляет 0.8 даН/мкм.
2. Патрон также существенно меняет АЧХ ШУ, смещая резонансные частоты в низкочастотную область (с 1500 Гц до 500 Гц).
3. Предлагаемая модель патрона показывает неплохое совпадение с экспериментом.

Библиография

1. Кудинов В.А. Динамика станков. М.: Машиностроение, 1967. 360 с.
2. Пуш А.В. Шпиндельные узлы. Качество и надежность. М.: Машиностроение, 1992. 288 с.
3. Хомяков В.С., Кочинев Н.А., Сабиров Ф.С. Исследование динамических характеристик шпиндельных узлов // Вестник МГТУ «Станкин». 2008. № 4. С. 15–22.
4. Козочкин М.П., Сабиров Ф.С. Сертификация и испытания металлорежущих станков: научное издание. М.: ИТО, 2012. 250 с.
5. Kochinev N.A., Sabirov F.S. Quasi-static method of measuring the balance of elastic displacements of the supporting system of machine tools // Measurement Techniques. Springer. New York. 2006. V. 49, N 6. P. 572–578.
6. Кочинев Н.А., Сабиров Ф.С. Измерение динамических характеристик станков методом импульсного нагружения // Измерительная техника. 2009. № 6. С. 39–41.
7. Хомяков В.С., Кочинев Н.А., Сабиров Ф.С. Экспериментальное и расчетное исследование динамических характеристик шпиндельных узлов // СТИН. 2009. № 3. С. 5–9.
8. Кочинев Н.А., Сабиров Ф.С., Хомяков В.С., Козочкин М.П., Сулов Д.Н. Программный комплекс для расчета динамических характеристик шпиндельных узлов станков («SpinDyna FE») // Свидетельство о госрегистрации программ для ЭВМ № 2010616228. 2010 г.
9. Хомяков В.С., Кочинев Н.А., Сабиров Ф.С. Моделирование и экспериментальное исследование динамических характеристик шпиндельных узлов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2011. № 3. С. 251–259.
10. Хомяков В.С., Сабиров Ф.С. Экспериментальное исследование и моделирование гильзовой конструкции шпиндельного узла шлифовального станка // СТИН. 2012. № 5. С. 10–15.
11. Сабиров Ф.С., Кочинев Н.А., Мысливцев К.В. Улучшение динамических характеристик многослойных роторных систем // Известия КБГУ. 2014. Т. IV, № 5. С. 64–68.
12. Сабиров Ф.С., Сулов Д.Н., Мысливцев К.В. Резервы улучшения динамических характеристик шпиндельных узлов при модернизации станков // Ремонт, восстановление, модернизация. 2012. № 11. С. 11–14.
13. Сабиров Ф.С., Шемякин А.А. Оперативная оценка виброустойчивости станков и состояния шпиндельных подшипников // Вестник машиностроения. 2015. № 8. С. 14–16.

ПОИСК КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В СЕТИ ИНТЕРНЕТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕМАНТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Аверченков А.В.¹, *Леонов Е.А.²

¹Брянский государственный технический университет

²ИКИ РАН

*johnleon@mail.ru

В статье предлагается новый метод классификации изображений в коллекциях документов, построенных на основании информации из сети Интернет. Предлагаемый метод позволяет произвести предварительную классификацию изображений с целью обнаружения в коллекции чертежей, таблиц, диаграмм, которые могут являться конструкторско-технологической документацией. Метод основывается на методах компьютерного зрения и использует каскад простых нейронных сетей.

Ключевые слова: классификация, распознавание образов, компьютерное зрение, искусственные нейронные сети, структурный анализ, веб-документ.

SEARCH DESIGN AND TECHNOLOGICAL DOCUMENTATION IN INTERNET NETWORK WITH USING SEMANTIC CLASSIFICATION OF IMAGES

Averchenkov A.V.¹, Leonov E.A.²

¹Bryansk State Technical University

²IDTI RAS

A new method of classification images in collection of document based on information from Internet network is offered in the article. Proposed method makes possible preliminary classification of images in order to detect a collection of drawings, tables, charts, which can be a design and technological documentation. Method is based on methods of computer vision and uses a cascade of simple artificial neural networks.

Keywords: classification, pattern recognition, computer vision, artificial neural networks, structure analysis, web document.

Введение. На сегодняшний день значительное количество конструкторско-технологической информации находится в открытом доступе в сети Интернет. Однако наряду с этим практически отсутствуют автоматизированные средства мониторинга и анализа данного вида информации. Наибольшая часть конструкторско-технологической документации в сети представлена в виде графических изображений, так как данный вид электронного документа наиболее просто внедрить в веб-документ. На этапе перехода от ручного проектирования к использованию САД-средств было разработано значительное количество достаточно эффективных методов распознавания растровых изображений чертежа [1], а также широко распространенными являются методы CLR, которые могут быть использованы для распознавания таблиц, представляющих собой маршруты обработок, операционные карты и др. Однако практически каждый из этих методов требует для использования на входе изображений конкретного типа, в связи с чем применение данных подходов напрямую к коллекциям изображений, полученных из сети, невозможно, так как большая часть графических файлов является изображениями других классов: фотографиями, рисунками, снимками экранов и т.д.

Поэтому для создания эффективных специализированных систем анализа конструкторско-технологической информации, полученной из сети Интернет [2], необходимо разработать специализированные методы анализа медиаконтента, одним из которых должен являться метод семантической классификации изображений, позволяющий отделить изображения, являющиеся конструкторско-технологической документацией, от изображений других типов.

Выбор параметров классификации. Для решения поставленной задачи была создана коллекция веб-документов в рамках предметной области САД/CAM/CAE. На основании изображений, используемых в коллекции документов, были построены тестовые коллекции для разработки и тестирования метода их семантической классификации. Также было принято решение разбить все изображения на следующие классы: схема, диаграмма, таблица, снимок экрана, формула, фотография, чертеж, рисунок, миниатюра, другое, неопределенное. Для осуществления возможности применения методов машинного обучения была проведена классификация изображений экспертами, опиравшимися на описание классов. Каждый из классов имеет набор характерных параметров, позволяющий его идентифицировать. Классы были выбраны таким образом, чтобы обеспечить наиболее четкие границы по используемым формальным параметрам.

Во время подготовки тестовой коллекции была замечена зависимость простой метainформации от класса изображения. Поэтому было проведено дополнительно исследование, позволяющее определить зависимость таких параметров, как ширина, высота, размер в байтах, плотность и тип сжатия от класса изображения. Для этого были построены графики зависимостей числа изображений в коллекции по каждому из параметров и классу (рис. 1).

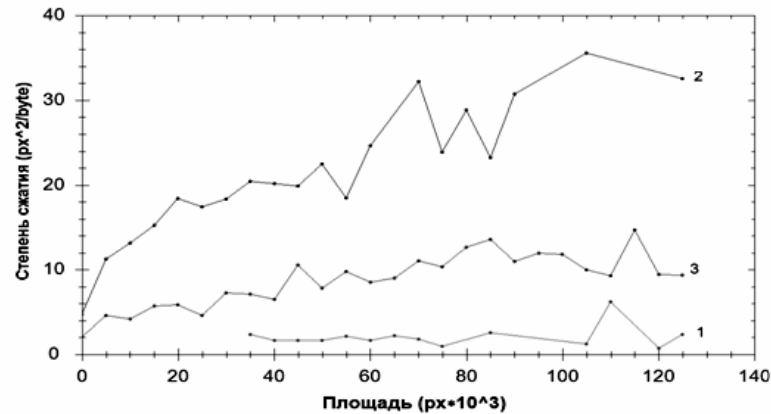


Рис. 1. Пример корреляции по степени сжатия изображений различных классов:
1 – фотографии, 2 – формулы и чертежи, 3 – все остальные основные классы

Была обнаружена корреляция отдельных классов по параметрам степени сжатия изображений. Для оценки корреляции степени сжатия применялась не усредненная оценка на всем классе, а оценка степени сжатия с учетом площади исходного изображения и алгоритма сжатия, так как степень сжатия для изображений одного класса, но различного размера может значительно различаться, а также алгоритм сжатия сильно влияет на степень сжатия.

Зависимость степени сжатия от площади обуславливается тем, что при увеличении изображений в нем возрастают размеры площадок одинакового цвета, что позволяет алгоритмам сжатия более эффективно сжимать изображение. В случае неоднородности изображения (фотографии) площадь изображения на степень сжатия существенных воздействий не имеет.

При подробном изучении имеющейся тестовой коллекции изображений была обнаружена достаточно четкая корреляция параметров с классом. Однако указанные параметры не позволяют четко дифференцировать все классы изображений. Многие классы по указанным внешним признакам не представляется возможным дифференцировать с приемлемой точностью. Так, например, классы снимок экрана, схема, рисунок, чаще имеют сходные размеры, форматы и степень сжатия (рис. 2), поэтому для того, чтобы достоверно классифицировать все заданные классы, было принято решение расширить набор исходных данных, подаваемых на вход нейронной сети. Для этого были установлены характерные особенности для труднодифференцируемых классов и разработаны алгоритмы по их выявлению.

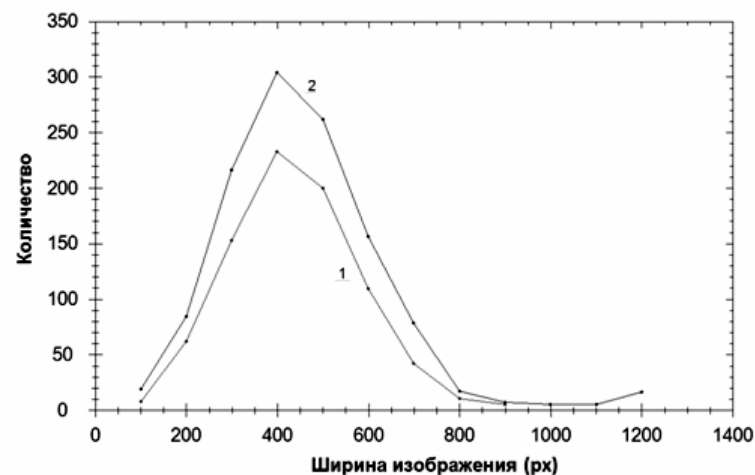


Рис. 2. Зависимость количества изображений от их ширины:
1 – для класса «схема», 2 – для класса «снимок экрана»

Так, опираясь на описание класса «схема», было принято решение искать в изображениях простые примитивы, имеющие четкие границы (прямоугольник, окружность, треугольник), а также проверять наличие совместных границ у примитивов, правильность их форм и угол наклона. Для того, чтобы повысить распознавание составных примитивов (например, прямоугольник со скругленными краями), также в алгоритм анализа была добавлена аппроксимация граней до замыкания контура. Для более точного определения снимков экрана осуществляется поиск основных элементов управления форм Windows. Для поиска формул было принято осуществлять поиск на изображениях специальных математических символов (плюс, равно и т.д.).

Для анализа изображений было принято решение использовать популярную библиотеку алгоритмов компьютерного зрения – OpenCV (Open Source Computer Vision) [3].

Подготовка исходных данных. Для задачи классификации изображений в системе используется искусственная нейронная сеть. Выбранной топологией нейронной сети является полносвязный многослойный персептрон. Следует отметить, что для каждой задачи классификации, несмотря на то, что используемые принципы совпадают, подходы к формированию входных данных и архитектуры нейронной сети являются уникальными и полностью зависят от поставленной задачи.

В качестве входных значений для нейронной сети было принято использовать следующие данные: ширину изображения; высоту изображения; размер файла в байтах, тип сжатия файла (jpeg, gif, png и т.д.); степень сжатия изображения (площадь, деленная на размер); количество найденных примитивов по каждому классу (треугольники, прямоугольники, квадраты, эллипсы, окружности, элементы управления Windows-форм); количество ортогонально ориентированных прямоугольников; количество прямоугольников с общими границами.

При формировании входных данных, подаваемых на вход полносвязного персептрона, имеющиеся данные нельзя подавать в исходном виде, так как в случае разнородности данных, шкал измерения и различной плотности на отдельных участках тяжело обеспечить сходимость сети на ограниченном наборе данных и в приемлемое время обучения [4]. Поэтому необходимо выполнить ряд общих преобразований входных данных, для чего были выполнены следующие действия:

- классификация данных по типу и дискретности;
- вычисление глобальной статистики для обеспечения линейности данных;
- удаление выбросов нехарактерных данных;
- подбор количества тренировочных данных для обеспечения сходимости нейронной сети;
- построение выборки из набора данных в соответствии с пропорциями классов общей коллекции;
- проверка качества полученных выборок;
- шкалирование данных на диапазон $[0,1]$ с последующим их кодированием;

Все выходные данные должны быть шкалированы к диапазону, который соответствует диапазону выходных значений сжимающей функции активации выходного слоя. Так как для используемой нейронной сети в качестве функции активации нейрона была выбрана сигмоидальная функция с предельными значениями от 0 до 1, то и все выходные значения были определены на этом же диапазоне. Также для ускорения обучения сети все входные значения были приведены к тому же диапазону.

Для приведения непрерывных входных данных было использовано минимаксное линейное преобразование, при этом данные были разделены на несколько наиболее линейных и репрезентативных диапазонов. Для шкалирования входных данных на диапазон $[0,1]$ использовалась следующая зависимость:

$$V' = \frac{\max(\min(V, V_{\max}), V_{\min}) - V_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}},$$

где V – исходное значение параметра; V' – значение параметра, нормализованное на диапазон $[0,1]$; $V_{\max}$ – максимальное значение параметра (верхняя граница рассматриваемого диапазона); $V_{\min}$ – минимальное значение параметра (нижняя граница диапазона).

Перечисляемые данные кодируются несколькими нейронами на класс, при этом каждый нейрон сопоставляется с конкретным классом. Все нейроны перечисляемого параметра равны 0, только нейрон, соответствующий значению класса, выставляется в 1.

Метод иерархической классификации изображений

При разработке метода классификации изображений было решено использовать нейронную сеть с топологией полносвязный многослойный персептрон. После создания алгоритмов подготовки входных значений в рамках программного комплекса по обработке изображений была создана программа, предназначенная для исследования работы и настройки нейронной сети.

В результате экспериментов с параметрами нейронной сети было выяснено, что в связи со значительным количеством параметров, подаваемых на вход сети, а также в связи с тем, что значения для различных классов дифференцированы на различных участках, конечная нейронная сеть, удовлетворяющая параметрам полноты и точности классификации, должна обладать значительными размерами.

Чтобы найти необходимые значения размеров нейронной сети, были определены ее минимальные размеры, составляющие один скрытый слой с количеством нейронов, равным количеству нейронов во входном слое. Далее сеть постепенно увеличивалась. В результате было выяснено, что уже при сети с тремя скрытыми слоями и выбранными параметрами для достижения максимума точности время обучения стало составлять более 30 минут. При этом точность классификации в среднем для каждого из классов была более 50 %, что является гораздо выше случайного распределения (около 10 %), но не является удовлетворительным.

Дальнейшее увеличение скрытых слоев приводит к экспоненциальной деградации производительности, что в свою очередь не позволяет эффективно осуществлять настройку сети. Также дальнейшее увеличение размера сети нецелесообразно, потому как время предсказания сети также начало значительно увеличиваться. В результате чего было принято решение об изменении топологии сети и поиске другого подхода по применению нейронной сети.

На первых этапах тестирования работы нейронной сети при незначительных ее размерах были замечены значительные различия в качестве распознавания отдельных классов или групп классов. То есть был обнаружен тот факт, что сеть при незначительных размерах быстро и эффективно дифференцирует изображения по группам классов, а вот для того чтобы добиться четкой дифференциации в рамках данной группы, приходится значительно увеличивать размеры сети.

Поэтому было принято решение о разбиении общей задачи классификации на отдельные более простые подзадачи. Каждая отдельная подзадача должна решаться отдельной нейронной сетью. В рамках одной подзадачи осуществляется классификация изображений на мультиклассы, объединяющие в себе несколько исходно заданных классов и характеризующие изображения по некой совокупности входных параметров. Каждый мультикласс не обязательно содержит в себе конечный класс целиком. Таким образом, для реализации отдельных подзадач можно значительно сократить размерность входных параметров и выходных значений, и, как следствие, размер используемой нейронной сети. Для уточнения классов в рамках одного мультикласса также используется отдельная нейронная сеть, выстраивая, таким образом, иерархию из простых классификаторов (рис. 3), классификация продолжается до тех пор, пока не будут выявлены все заданные классы изображений, после чего производится объединение отдельных классов, распознанных по различным путям иерархии. Нейронная сеть, используемая на каждом этапе классификации, имеет схожие параметры настройки и топологии.

Каждая нейронная сеть является полносвязным многослойным персептроном и состоит из четырех слоев нейронов (сигнальный слой, 2 скрытых, выходной слой). Количество нейронов во входном слое соответствует количеству входных данных, а на выходе соответственно количеству классов, на которые производится классификация на данном этапе. Количество нейронов в скрытых слоях на 2 больше, чем максимум на входе или на выходе.

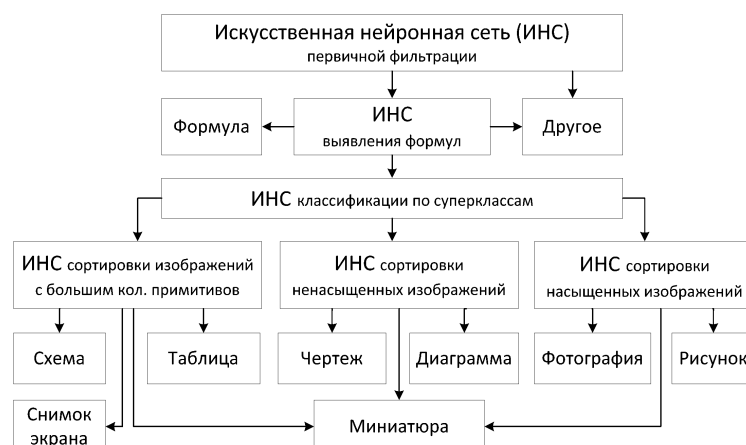


Рис. 3. Иерархическая структура каскада нейронных сетей

В качестве метода обучения используется алгоритм обратного распространения ошибки. Настройки сетей производились таким образом, чтобы обеспечить быструю сходимость сети. При этом все параметры нейронов и настройки метода обучения определялись эмпирически.

Оценка эффективности. Метод семантической классификации изображений имеет высокую скорость работы и удовлетворительную точность классификации. В результате настройки нейронных сетей удалось достичь достаточно высоких результатов классификации. Для оценки эффективности использовалась тестовая коллекция из 36 000 изображений. На рис. 4 изображены результаты тестирования каскада нейронных сетей. На диаграмме не отображен класс «другие», так как он является самым многочисленным (более 25 000 изображений), и его представление на одной диаграмме значительно нарушает пропорции, при этом данный класс является неинформативным, поэтому было принято решение его не отображать.



Рис. 4. Эффективность работы каскада нейронных сетей (абсолютные значения)

В качестве основных показателей работы каскада ИНС были выбраны следующие критерии по каждому классу изображений:

- количество изображений, определенных экспертом (эксперт);
- количество изображений, определенных каскадом ИНС так же, как и экспертом (правильно определено);
- общее количество изображений, определенных каскадом ИНС как относящихся к рассматриваемому классу (определено);
- количество изображений, определенных экспертом как относящиеся к классу, но не определенных каскадом ИНС (не определено), класс неверно отвергнут (ошибка первого рода);
- количество изображений, определенных каскадом ИНС как относящиеся к классу, но при этом не принадлежащие ему по оценке эксперта (неправильно определено), класс неверно принят (ошибка второго рода).

Таким образом, подводя итоги тестирования можно сделать общее заключение о достаточно высоком качестве классификации изображений. Правильность классификации между значимыми классами составила более 75 %, что является высоким результатом для поставленной задачи, наиболее худший результат классификации между значимыми классами получен для классов «диаграмма» и «схема». Данная проблема может быть связана с тем, что выявленные критерии недостаточно полно позволяют разделить данные классы, потому как диаграммы часто выполняются с использованием горизонтальной и вертикальной сетки, которая создает большое количество простых примитивов, и диаграмма становится похожей, с точки зрения параметров, на таблицу или схему.

Следует отметить, что разработанный метод позволяет достаточно эффективно выделять чертежи и таблицы, которые могут быть необходимы для дальнейшего анализа конструкторско-технологической информации. Как видно из рис. 4, таких изображений относительно мало (122 и 120 из приблизительно 56000), так как большая часть из них являются неинформативными, к которым нецелесообразно применять методы анализа. Использование предлагаемого метода позволит в значительной степени сократить необходимые вычислительные ресурсы при анализе конструкторско-технологической информации, а также избежать возможного зашумления информационной системы некорректными результатами.

Разработанный метод позволяет с точностью более 98 % отделить информативные классы от неинформативных, что является чрезвычайно важным при построении средств просмотра и поиска изображений для пользователей ИС, а также для эффективного применения специализированных методов анализа изображений.

Библиография

1. Аверченков В.И., Аверченков А.В. Автоматизация распознавания и идентификации конструкторско-технологических элементов деталей в интегрированных САПР // Вестник компьютер. и информ. технологий. 2005. № 4. С. 7–15.
2. Аверченков В.И., Аверченков А.В., Леонов Е.А. Формализация процесса мониторинга информации в сети Интернет при создании предметно-ориентированных хранилищ данных // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2012. № 1. С. 38–45.
3. Барский А.Б. Логические нейронные сети: учеб. пособие. М.: Интернет-университет информационных технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. 352 с.
4. Bradski G., Kaehler A. Learning OpenCV. Sebastopol: O'Reilly Media Inc., 2008. 555 p.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗНАНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЛОКОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Евдокимов С.А., Рыбаков А.В., Краснов А.А., *Шурпо А.Н.

ИКТИ РАН

*a-shurpo@yandex.ru

Изложены способы представления знаний в машиностроении для привлечения специалистов предметной области к процессу разработки и сопровождения автоматизированных систем.

Ключевые слова: автоматизация проектирования технических объектов, нормативно-справочная информация, автоматизированная система.

FORMALIZATION OF KNOWLEDGE IN ENGINEERING WITH USING OF DECISION-MAKING BLOCKS

Evdokimov S.A., Rybakov A.V., Krasnov A.A., Shurpo A.N.

IDTI RAS

Identified ways of representing knowledge in engineering to involve the specialist subject area in the design and maintenance of the automated systems.

Keywords: automation of technical objects, normative reference information in machine, automated system.

При создании автоматизированных систем в машиностроении необходимо привлекать к разработке специалистов предметной области [1]. Автоматизация проектирования технических объектов и создание САПР предполагают использование нормативно-справочной информации при создании и эксплуатации автоматизированной системы [2]. Традиционно в машиностроении нормативно-справочная информация, используемая в процессе проектирования, сосредоточена в справочниках, стандартах и инженерных методиках проектирования.

Если автоматизированная система в процессе работы использует знания предметной области, а не только диалог с пользователем и математические методы вычислений, то эти знания необходимо формализовать так, чтобы компьютер мог с ними работать. Лучше всего, чтобы формализацией знаний занимался специалист предметной области [3].

Для формализации знаний в машиностроении были разработаны блоки принятия решений [4]. Блоки принятия решений (БПР) представляют собой простую и удобную форму представления знаний, ориентированную на специалиста предметной области, и предназначены для создания расчетных процедур в компьютерной среде. Основой разработки и заполнения блоков принятия решений служит традиционная нормативно-справочная информация (справочники, ГОСТы, СТП и т.д.), представленная в виде формул и таблиц.

Использование БПР дает следующие преимущества:

1. Специалист предметной области ориентируется в первую очередь на создание модели объектов реального мира. В машиностроении деление на объекты и действия с ними достаточно хорошо отработаны, что дает следующие преимущества:

- деление на объекты обеспечивает модульность системы;
- переменные являются свойствами объектов предметной области;

2. Исключение из процесса разработки программного обеспечения профессиональных программистов позволяет:

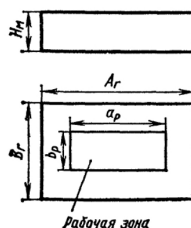
- уменьшить время разработки программного продукта в 10–15 раз;
- уменьшить число ошибок и сократить время отладки;
- упростить сопровождение и модификацию программы.

3. Исходная спецификация является одной из основных составляющих документации на программу.

Как показала практика, 80 % требуемой информации при желании может формализовать любой специалист, а для формализации оставшихся 20 % информации требуются знания эксперта в предметной области. БПР использовались при проектировании штампов холодной листовой штамповки [4], пресс-форм [5], станочных приспособлений [6], резбовых калибров.

Для примера рассмотрим расчет толщины прямоугольной матрицы при холодной листовой штамповке из справочника [7]. Справочные данные для расчета расположены в справочнике на страницах 75, 76 и 79 (рис. 1).

17. Зависимость наименьших габаритных размеров прямоугольной $A_r \times B_r$ матрицы от размеров $a_p \times b_p$ ее рабочей зоны



Толщину матрицы H_m определяют из следующей эмпирической зависимости, мм:

$$H_m = s + K_m \sqrt{a_p + b_p} + 7, \quad (24)$$

где s — толщина штампуемого материала, мм; a_p и b_p — размеры рабочей зоны матрицы, мм; K_m — коэффициент.

σ_b^* , МПа	До 120	Св. 120 до 200	Св. 200 до 300	Св. 300 до 500	Св. 500 до 1000	Св. 1000
K_m	0,5	0,6	0,8	1,0	1,3	1,5—2,0

* Временное сопротивление штампуемого материала

Дополнительно по эмпирической формуле можно проверить достаточность толщины матрицы, мм:

$$H_m = \sqrt[3]{100P}, \quad (25)$$

где P — требуемое технологическое усилие штамповки, кН. После этого следует принять большее из значений H_m , полученных по формулам (24) и (25).

Найденное таким образом значение H_m необходимо округлить до ближайшего большего числа из следующего ряда чисел: 8, 10, 12, 16, 20, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 71, 80. Соотношение габаритных размеров и толщины прямоугольных матриц следует принимать по ГОСТ 15861—81.

Рис. 1. Сведения о расчете толщины матрицы из справочника [8]

Для преобразования этого расчета к компьютерному виду необходимо зафиксировать используемые параметры в виде словаря понятий (табл. 1).

Таблица 1

Словарь понятий для расчета толщины матрицы

Имя	Шаблон	Наименование
Ar	F7.2	Длина рабочей зоны, мм
Br	F7.2	Ширина рабочей зоны, мм
Gb	F6.0	Временное сопротивление штампуемого материала, МПа
H1m	F7.2	Предварительная толщина матрицы, мм
Hr	F7.2	Расчетная толщина матрицы, мм
Hmin	F7.2	Минимальная толщина матрицы, мм
Km	F4.3	Коэффициент расчета толщины матрицы
Pmt	F8.0	Технологическое усилие, воспринимаемое матрицей, Н
S	F5.2	Толщина штампуемого материала, мм
mmH	F7.2	Толщина матрицы, мм

Формулы, таблицы и словесные описания фиксируются в виде БПР. Для удобства отладки рекомендуется одну формулу записывать в один блок. В этом случае при возникновении ошибки будет просто установить, какая формула привела к ошибке. В один блок можно записать только содержимое одной таблицы. Для расчета толщины матрицы были созданы блоки (рис. 2–5):

- расчет предварительной толщины матрицы по формуле (24);
- расчет минимальной толщины матрицы по формуле (25);
- выбор коэффициента K_m для формулы (24) из таблицы;
- расчет максимума из 2-х толщин и выполнение нормирования по ряду чисел.

На рис. 2 в правой части курсивом приведены комментарии, которые неформально показывают структуру блока и не являются частью БПР. Ширину колонок таблиц можно изменять. Сама таблица решений может иметь различные варианты исполнения.

В совокупности множество БПР представляет собой описание предметной области, которое с определенной степенью детализации охватывает проблему. Набор БПР, который предназначен для решения определенной задачи, называется вычислительной моделью.

Заголовок блока

(имя блока – обязательно, остальное рекомендуемый комментарий)

Блок: bmm01

Наименование: коэффициент расчета толщины матрицы

Источник информации [7]:

Таблица условий

(заголовок, исходные данные, результаты расчета)

Наименование параметра	Значение	Имя
1. Временное сопротивление штампуемого материала, МПа		Gb
2. Коэффициент расчета толщины матрицы		Km

Таблица решений

(решение находится на пересечении столбца и строки)

Временное сопротивление штампуемого материала, МПа	Коэффициент расчета толщины матрицы
(0.,120.]	0.5
(120.,200.]	0.6
(200.,300.]	0.8
(300.,500.]	1.0
(500.,1000.]	1.3
(1000.,)	1.8

Рис. 2. БПР для выбора коэффициента Km для формулы (24)

Блок: bmm03

Наименование: расчет минимальной толщины матрицы

Источник информации [7]:

!!(Единицы измерения Pmt в словаре – «Н», а в справочнике – «кН»)

Наименование параметра	Значение	Имя
1. Технологическое усилие, воспринимаемое матрицей, Н		Pmt
2. Минимальная толщина матрицы, мм	$\text{pow}(0.1 * Pmt, 1./3.)$	Hmin

Рис. 3. БПР для расчета толщины матрицы по формуле (25)

Блок: bmm02

Наименование: расчет толщины прямоугольной матрицы

Источник информации [7]:

Наименование параметра	Значение	Имя
1. Длина рабочей зоны, мм		Ap
2. Ширина рабочей зоны, мм		Bp
3. Толщина штампуемого материала, мм		S
4. Коэффициент расчета толщины матрицы		Km
5. Предварительная толщина матрицы, мм	$7 \cdot S + K_m \cdot \sqrt{A_p + B_p}$	H1m

Рис. 4. БПР для расчета толщины матрицы по формуле (24)

Блок: Bmm05

Наименование: расчет толщины матрицы

Источник информации [7]:

Наименование параметра	Значение	Имя
1. Предварительная толщина матрицы, мм		H1m
2. Минимальная толщина матрицы, мм		Hmin
3. Расчетная толщина матрицы, мм	$\max(H1m, Hmin)$	Hr
4. Толщина матрицы, мм		mmH

Расчетная толщина матрицы, мм	Толщина матрицы, мм
(0.,8.]	8.
(8.,10.]	10.
(10.,12.]	12.
(12.,16.]	16.
...	
(71.,80.]	80.

Рис. 5. БПР для расчета максимума из 2-х толщин и нормирования

Поиск решений на основе вычислительной модели выполняет специальная программа - планировщик. Работа планировщика строится на следующих предпосылках:

1. Имеется словарь понятий, отражающий свойства объектов предметной области. Например, для расчета толщины матрицы словарь понятий состоит из следующих идентификаторов:

$\{A_p, B_p, G_b, H1m, H_r, H_{min}, K_m, P_{mt}, S, mmH\}$.

2. Имеется набор БПР, в которых зафиксированы взаимосвязи между отдельными свойствами объектов предметной области. Для каждого блока принятия решений известно его имя, список входных и выходных параметров, условия применения. Последние три компонента определяются в терминах словаря понятий. Например, для расчета толщины матрицы:

$K_m = bmm01(S, G_b); H1m = bmm02(A_p, B_p, S, K_m);$

$H_{min} = bmm03(P_{mt}); (H, mmH) = bmm05(H1m, H_{min}).$

3. Постановка задачи для планировщика формулируется в терминах, что «Дано» и что «Требуется получить» и осуществляется в виде набора входных и выходных атрибутов словаря понятий. Эти наборы атрибутов представляются для планировщика в виде входной и выходной таблицы. При этом входная таблица задает исходные данные для расчета (A_p, B_p, P_{mt}, S, G_b), а выходная таблица будет содержать результаты расчета (mmH) после работы планировщика.

На основе указанных пользователем исходных данных и результатов, которые требуется определить, планировщик автоматически строит план действий в виде последовательности применения блоков вычислительной модели, которые следует выполнить для достижения поставленной цели (рис. 6).

Планировщик автоматически реализует составленный план действий и сохраняет значения результатов вычислений в выходной таблице.

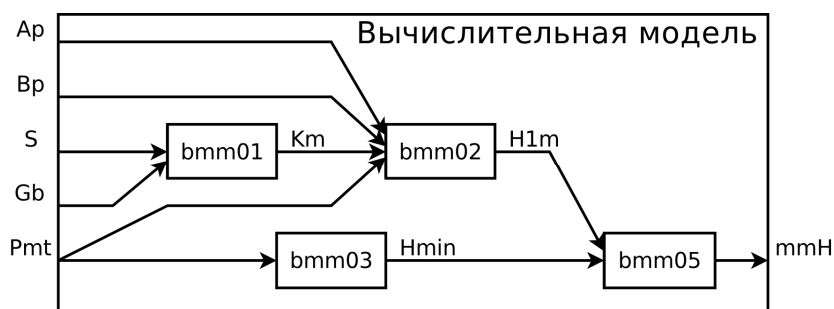


Рис. 6. Пример схемы расчета толщины матрицы

Если результата достигнуть не удастся, то планировщик позволяет получить информацию о полноте накопленных знаний и последовательности применяемых БПР при решении задачи. После работы планировщика информация о последовательности выполнения блоков доступна пользователю в форме протокола вычислений (рис.7). Этот протокол также можно трактовать как объяснительную функцию, обычно реализуемую в экспертных системах.

Имя модели: MATR **Дата:** Sun Apr 11 12:14:15 2014

Исходные данные (таблица MMINP):

Ar = 70.00 ; Длина рабочей зоны, мм
 Bp = 80.00 ; Ширина рабочей зоны, мм
 Pmt = 172855 ; Технологическое усилие, воспринимаемое матрицей, Н
 S = 1.0 ; Толщина штампуемого материала, мм
 Gb = 300 ; Временное сопротивление при растяжении, МПа

Определение параметра Km

Блок: bmm01

<S = 1.0 ; Толщина штампуемого материала, мм
 <Gb = 300 ; Временное сопротивление при растяжении, МПа
 Km = 0.800 ; Коэффициент расчета толщины матрицы

Определение параметра H1m

Блок: bmm02

<Ar = 70.00 ; Длина рабочей зоны, мм
 <Bp = 80.00 ; Ширина рабочей зоны, мм
 <S = 1.0 ; Толщина штампуемого материала, мм
 <Km = 0.800 ; Коэффициент расчета толщины матрицы
 H1m = 17.80 ; Предварительная толщина матрицы, мм

Определение параметра H

Блок: bmm03

<Pmt = 172855 ; Технологическое усилие, воспринимаемое матрицей, Н
 Hmin = 25.86 ; Минимальная толщина матрицы, мм

Определение параметра mmH

Блок: bmm05

<H1m = 17.80 ; Предварительная толщина матрицы, мм
 <Hmin = 25.86 ; Минимальная толщина матрицы, мм
 H = 25.86 ; Расчетная толщина матрицы, мм
 mmH = 28.00 ; Толщина матрицы, мм

Рис. 7. Протокол вычислений для расчета толщины матрицы

Выше приведен пример расчета, который по одной строке таблицы исходных данных получает одну строку таблицы результатов. На практике встречаются задачи, где по одной строке таблицы исходных данных требуется получить несколько строк в таблице результатов. В этом случае используется другая программа – планировщик действий. Последний работает в цикле так, что результаты текущего расчета являются исходными данными для следующего расчета. Цикл работает до тех пор, пока не будет получен требуемый результат. Это накладывает условия на структуру входной и выходной таблицы для планировщика действий и несколько усложняет вычислительную модель.

Рассмотрим пример расчета технологии обработки отверстия [9]. Полный пример расчета приведен в постановке инструментальной компьютерной среды (ИКС). Учебную версию системы можно скачать на сайте www.inisw.ru.

В табл. 2 представлен словарь понятий технологии обработки отверстия.

Таблица 2

Словарь понятий технологии обработки отверстия

Имя	Шаблон	Наименование
D	F7.2	Диаметр обрабатываемого отверстия, мм
Dp1	F7.2	Диаметр отверстия после обработки, мм
FINI	I1	Признак окончания
KVD	I2	Квалитет отверстия
Kt	F5.2	Коэффициент глубины резания
Np0	I3	Номер перехода по порядку
Np1	I3	Номер выполняемого перехода
Ntp0	I3	Код предшествующего перехода
Ntp1	I3	Код выполняемого перехода
Ra	F5.2	Шероховатость Ra, мкм
Twork	A20	Вид работы
Tzag	A30	Состояние отверстия заготовки
Vtp	A30	Наименование технологического перехода
t	F5.2	Глубина резания, мм
tnom	F5.2	Глубина резания номинальная, мм

В табл. 3 приведен список допустимых значений для параметра «Vtp» – наименование технологического перехода.

Таблица 3

Список допустимых значений параметра Vtp – наименование технологического перехода

Номер	Значение
1	сверление
2	рассверливание
3	зенкерование черновое
4	зенкерование получистовое
5	зенкерование чистовое
6	развертывание черновое
7	развертывание получистовое
8	развертывание чистовое
11	штамповка
12	литье

Для определения маршрута обработки здесь приведена только часть одного блока (Botv1). В этом блоке (рис. 8) вместо наименования перехода используется его номер в соответствии с табл. 3. Это позволяет сократить объем набиваемого текста, хотя и уменьшает его наглядность. Номер перехода по порядку – это фактически номер расчета в цикле планировщика действий. Расчет закончится, когда параметр «Признак окончания» примет значение один (FINI = 1).

Расчет технологии обработки выполняется, начиная с готового отверстия (т.е. в обратном порядке) для того, чтобы можно было рассчитать глубину резания (хотя, возможно, имеются другие варианты).

Конечный пользователь вводит исходные данные (табл. 4), выполняет расчет и получает результат (табл. 5).

Основные преимущества представления знаний в форме блоков принятия решений перед традиционным программированием приведены ниже:

1. Анализ традиционно сложившейся нормативно-справочной среды в машиностроении показывает, что БПР являются наиболее массовой и естественной формой представления знаний в машиностроении.

2. Использование БПР позволяет разработчику выполнить функциональное структурирование знаний. При этом выполняется подбор нормативно-справочной литературы и выполняется уяснение решаемой задачи.

Блок: Botv1

Наименование: определение маршрута обработки отверстий

Источник информации [9]:

Примечание:

Для краткости вместо наименования технологического перехода используется его номер в списке значений (Vtp.kod).

Наименование параметра	Значение	Имя
1. Состояние отверстия заготовки	не подготовлено	
2. Диаметр обрабатываемого отверстия, мм		
3. Квалитет отверстия		
4. Шероховатость Ra, мкм		
5. Номер выполняемого перехода		Np1
6. Номер перехода по порядку	Np1+1	Np0
7. Код предшествующего перехода		Ntp0
8. Признак окончания		

Диаметр	Номер	Квалитет отверстия		
обрабатываемого	перехода	9	8	7
отверстия, мм	по порядку	Шероховатость Ra, мкм		
		[5,)	[2.5,)	[2.5,)
		[1.25,)	[1.25,)	[0.6,)

[4,18]	1	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
	2	1,1	1,1	4,0	4,0	6,0	6,0
	3			1,1	1,1	1,1	1,1
(18,30]	1	6,0	7,0	7,0	7,0	7,0	8,0
	2	5,0	5,0	5,0	6,0	6,0	7,0
	3	1,1	1,1	4,0	4,0	5,0	5,0
	4			1,1	1,1	1,1	4,0
	5						1,1

Рис. 8. БПР для определения маршрута обработки отверстий

3. Предложенный формат БПР обладает уровнем формализации, достаточным для реализации таких знаний на ЭВМ. При этом значительно снижаются требования к уровню специальной подготовки пользователей в области программирования.

4. При использовании программы планировщика на базе множества БПР может быть создана специализированная экспертная система без дополнительного программирования.

Таблица 4

Исходные данные расчета технологии обработки отверстия

D	KVD	Ra	Tzag	Twork
13	7	80	не подготовлено	сверлильные

Результаты расчета технологии обработки отверстия

Ntp1	Vtp	Dp1	t
1	сверление	11.70	
6	развертывание черновое	12.80	0.55
7	развертывание получистовое	13.00	0.10

Использование БПР позволяет специалистам предметной области самостоятельно (практически без привлечения программистов) выполнять формализацию нормативно-справочной информации и накопленных на предприятии технических решений. При этом представление знаний в ЭВМ максимально приближено к традиционным формам, используемым в справочниках, т.е. в виде таблиц, формул и комментариев к ним на естественном языке. В сложных случаях (например, при наличии специальных функций) возможно грамотно поставить задачу для программиста.

При использовании БПР существенно снижаются требования к программной подготовке специалистов, участвующих в разработке программного обеспечения. Фактически специалисту необходимо иметь простейшие навыки работы с клавиатурой и уметь пользоваться одним из текстовых редакторов.

Библиография

1. Рыбаков А.В., Евдокимов С.А., Мелешина Г.А. Создание автоматизированных систем в машиностроении. М.: Станкин, 2001. 157 с.
2. Рыбаков А.В., Евдокимов С.А., Краснов А.А. Создание системы автоматизированной поддержки информационных решений при проектировании технологической оснастки. М.: Станкин, 2013. 162 с.
3. Рыбаков А.В., Евдокимов С.А., Краснов А.А. Использование традиционных стандартов предприятия для построения компьютерных баз знаний // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2005. № 2. С. 23–28.
4. Евдокимов С.А., Рыбаков А.В. Программно-компьютерная среда для автоформализации инженерных знаний // Вестник машиностроения. 1990. № 7. С. 40–44.
5. Рыбаков А.В., Пичугин В.И., Краснов А.А., Евдокимов С.А. Проектирование штампов для холодной листовой штамповки на основе компьютерных прототипов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2008. № 6. С. 16–21.
7. Евдокимов С.А., Григорьев И.В., Краснов А.А., Рыбаков А.В., Шурпо А.Н. Создание компьютерной базы знаний для работы с нормативно-справочной информацией в машиностроении // CAD/CAM/CAE Observer. 2010. № 1, 2. С. 52–59.
8. Справочник конструктора штампов: листовая штамповка / под общ. ред. Л.И. Рудмана. М.: Машиностроение, 1988. 496 с.
9. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания. Ч. II. М.: Экономика, 1990.

**АРХИТЕКТУРА МНОГОАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГОПОТОКОВ*****Николушкин А.Ю.¹, Рыбаков А.В.²****¹МГТУ «СТАНКИН», ²ИКИ РАН***** nikolushkin.andrey@gmail.com**

Современные темпы развития промышленного комплекса России, нацеленность на создание технологий и производств, позволяющих заменить дорогостоящие импортные аналоги, требуют развития надежного и качественного обеспечения энергоресурсами предприятий. От качества предоставляемых услуг по энергообеспечению зависит эффективность работы производств, направленных на конечного потребителя.

Ключевые слова: энергия, энергопотоки, система управления, прогнозирование, умное сетевое изделие.

**THE ARCHITECTURE OF MULTI-AGENT SYSTEM FOR
CONTROLLING THE DISTRIBUTION OF ENERGY FLOWS****Nikolushkin A.Y.¹, Rybakov A.V.²****¹MSTU «STANKIN», ²IDTI RAS**

Current pace of development of the industrial complex of Russia, focus to the creation of technologies and industries, allowing to replace expensive foreign analogues, require the development of reliable and quality energy supply for enterprises. The efficiency of the production of the final consumer depends on the quality of the services, aimed at the end consumer.

Keywords: energy, energy flows, control system, forecasting, smart networking device.

Традиционно процесс получения энергии неразрывно связан с потреблением ресурсов, которые можно разделить на возобновляемые и невозобновляемые. Современная энергетика более чем на 90 % обеспечивается ресурсами невозобновляемого ископаемого топлива (нефть, уголь, газ, уран и другие виды горючих и радиоактивных ресурсов) [1]. Общемировые запасы невозобновляемых ресурсов оцениваются примерно в 100 лет бесперебойной добычи, а следовательно, и бесперебойной генерации электроэнергии, соответствующей, как минимум, текущему объему потребления.

Сами генерирующие объекты помимо выработки энергии производят значительное влияние на окружающую среду. В зависимости от используемой технологии производства воздействие отличается, причем влияние оказывает и сам используемый в производстве ресурс (метод его получения) вне зависимости от того, является он возобновляемым или нет.

Так, тепловые электростанции характеризуются выделением большого количества продуктов горения, оказывающих негативное влияние на атмосферу. Прослеживается тенденция все большей ответственности тепловых электростанций перед экологическими инстанциями. Например, в Европе существуют экологические налоги, обязывающие предприятия выплачивать денежные компенсации в пользу государства, чье производство связано с загрязнением окружающей среды выше установленных норм.

На атомные электростанции (АЭС) возлагаются большие надежды по обеспечению потребителей дешевой и практически чистой энергией. Но не стоит забывать о потенциальной опасности данного вида производства, и тем более про утилизацию отработанного ядерного топлива, что является основной проблемой для этого вида генерации.

Крупные аварии, произошедшие на АЭС в новейшей истории, сильно сказались на распространении таких электростанций во многих странах. К примеру, в Германии разработаны планы отключения и вывода из строя всех АЭС к 2022 году [2].

Гидроэлектростанции являются одними из самых экологически чистых генерирующих предприятий, получаемая энергия которых используется в промышленных масштабах. Но малая стоимость генерации и безвредность производства теряются на фоне огромных расстояний, на которые удалены потребители от источников генерации. При этом строительство данного объекта генерации вызывает массу сложностей, может привести к экологической катастрофе в регионе строительства.

Использование других известных методов получения электроэнергии в той или иной мере имеет негативное воздействие на окружающую среду, что в целом отрицательно сказывается на возможности дальнейшего лавинообразного увеличения генерирующих предприятий при постоянном росте потребления энергии.

«Классическим» источникам энергии приводятся в противовес объекты, использующие возобновляемые ресурсы, получившие название «зеленой» или «нетрадиционной» энергетики. Эти объекты в ходе своей деятельности используют энергию солнца, ветра, воды или нетрадиционного сжигаемого топлива.

Такой вид производства электроэнергии подразумевает экономически оправданное географическое распределение генерирующих объектов по территории региона, позволяющих при необходимости компенсировать локальные всплески потребности в электроэнергии отдельными потребителями. При этом не исключается возможность транспортировки из-

бытков производства энергии в общую энергосеть. По мере развития технологий данный вид генерации энергии становится все более экономически выгодным при малой степени загрязнения окружающей среды [3].

Большой опыт внедрения «зеленых» электростанций в Германии позволил заместить до 30 % общего потребления электроэнергии страны [4]. Но дальнейшее развитие стало невозможным в связи с тем, что существующие линии электропередач не справляются с объемом транзитного электричества, а существование множества отдельных электростанций требует нового подхода к средствам управления энергопотоками.

Существенной проблемой генерации электроэнергии из естественных источников является непостоянство выдаваемой мощности в связи с изменениями погодных условий. К примеру: туман или иные плохие погодные условия являются факторами отсутствия прямого солнечного воздействия на фотопанели, изменения направления ветра на ветряных подстанциях, а также многие другие факторы заставляют разработать механизмы управления энергопотоками, позволяющими обеспечить потребителей энергией вне зависимости от внешних факторов.

Бесспорно, что без участия традиционных генерирующих объектов не обойтись. На них должна лечь функция восполнения просадок электроэнергии, не допуская аварийных ситуаций, тем самым поддерживая требуемые характеристики энергопотребления.

Создание подобных объектов и подключение их в общую электрическую сеть позволит не только локально покрыть потребности в электроэнергии, но и при генерации излишней электроэнергии выдавать ее в сеть для общего пользования.

При наличии множества локальных генерирующих подстанций, работающих в синхронном режиме, совместно перекрывающем потребности в энергопотоке, возникает необходимость создания оперативной системы управления объектами и контроля распределения энергопотоков в масштабе региона в целом. Задачи такого класса относятся к многоагентным системам (МАС, англ. multi-agent system), т.е. системам, образованным несколькими взаимодействующими интеллектуальными агентами.

Создание системы управления распределением энергопотоков, позволяющей управлять в автоматическом режиме генерацией, транспортировкой и потреблением энергии, является чрезвычайно важной и актуальной задачей. Концептуальные решения именно этой задачи с использованием программируемых контроллеров и сети Интернет излагается ниже.

Существующие системы управления для локальных объектов энергохозяйств или для магистральных компаний, занимающихся транспортировкой энергии, позволяют контролировать текущие характеристики сети и реагирование на аварийные состояния объектов энергосистемы. Это результат реализации таких функций, как управление автономной работой отдельных источников энергии, мониторинг их состояния и учет произведенной энергии, используемой сегодня в любом энергохозяйстве.

Следующим шагом в развитии систем управления энергопотоками должна быть оптимизация, включающая все три ранее реализованных пункта, что позволит максимально эффективно распределять между потребителями энергопотоки (рис. 1).

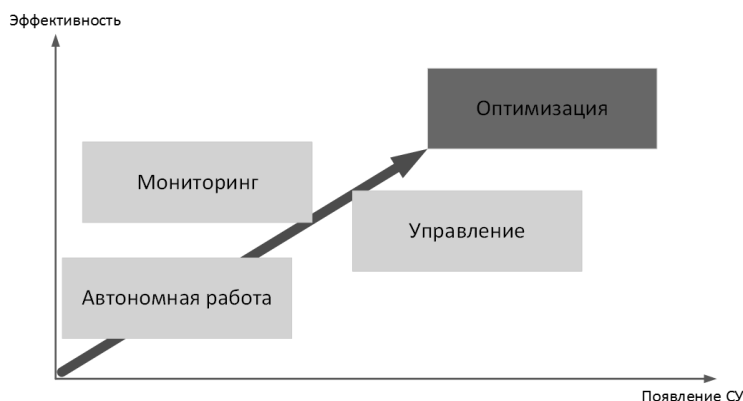


Рис. 1. Развитие систем управления

Широкое применение сетевых технологий, в том числе и глобальных, развитие концепции «Интернет-вещей» позволяют наделять систему управления новыми функционалом.

Для поставщика энергии задача предоставить требуемую мощность потребителю уже не является основной. Необходимо не только довести до потребителя энергопоток, но и оперативно управлять этим процессом, обеспечивая максимальную эффективность генерации при минимальных затратах.

Это совершенно новый механизм взаимодействия между поставщиком ресурсов и потребителями, подразумевающий оказание комплекса услуг (рис. 2).

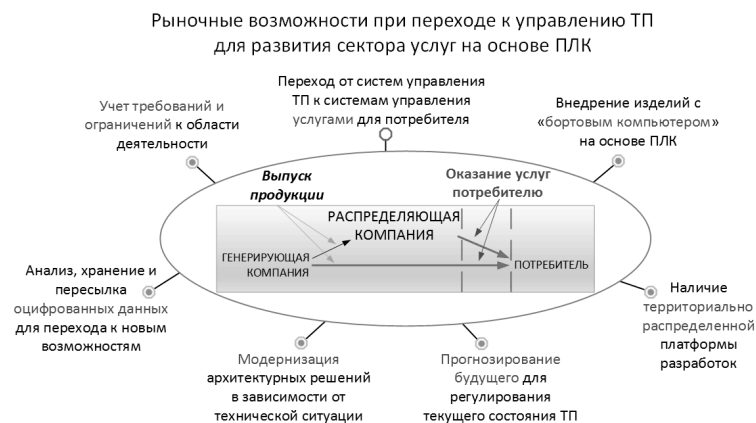


Рис. 2. Новый механизм взаимодействия поставщик-потребитель в условиях концепции «Интернет-вещей»

Данный подход к созданию системы управления энергопотоками имеет следующие преимущества:

- осуществление полного контроля над генерирующими объектами;
- мониторинг в режиме реального времени над распределением и потреблением энергии;
- устойчивость системы к аварийным ситуациям, малое время восстановления полной работоспособности;
- максимально эффективное использование ресурсов;
- возможность прогнозирования будущего состояния системы.

Новизна данного решения заключается в разработке и применении многоагентной системы управления распределением энергопотоков, которая призвана осуществлять полный контроль над тем, сколько и где потребляется электроэнергия, сколько производится сейчас и сколько понадобится в будущем.

К недостаткам данного подхода стоит отнести большой объем инвестиций, необходимый для переоснащения текущих или строительства новых объектов энергоструктуры, связанных с организацией распределенного управления. Эти инвестиции относятся к разряду инфраструктурных.

Распределенная многоагентная система управления энергопотоками должна строиться согласно модульной масштабируемой архитектуре. Это позволит проводить модернизацию управления энергохозяйств в режиме, исключающем вывод из строя крупных узлов распределения и трансформации энергии, что в свою очередь минимально скажется на работоспособности общей организации энергоснабжения в том или ином регионе страны.

Каждый уровень управления является самодостаточным, позволяет производить оперативное управление объектами своего уровня и объектами подуровней. К примеру, уровень с наименьшим числовым обозначением всегда является главным для уровня с большим числовым обозначением (рис. 3).

Таким образом, будет складываться общая многоуровневая картина энергохозяйства, включающая в себя как объекты генерации и потребления, так и все возможные способы передачи энергии. Это позволит системе управления энергопотоками реализовать наиболее оптимальную транспортировку от генерирующего предприятия до потребителя.

На первом этапе развития систем управления энергопотоками исполнительные устройства использовались лишь по своему прямому назначению, без возможности получения характеристик о его состоянии. Данное мировоззрение было базовым достаточно долго, основываясь только на умениях и квалификации рабочего персонала. С появлением Интернет развитие пошло практически в геометрической прогрессии, сокращая время развития новых технологий и увеличивая степень автоматизации всего производства уже не только в масштабах отдельного предприятия, а региона в целом.

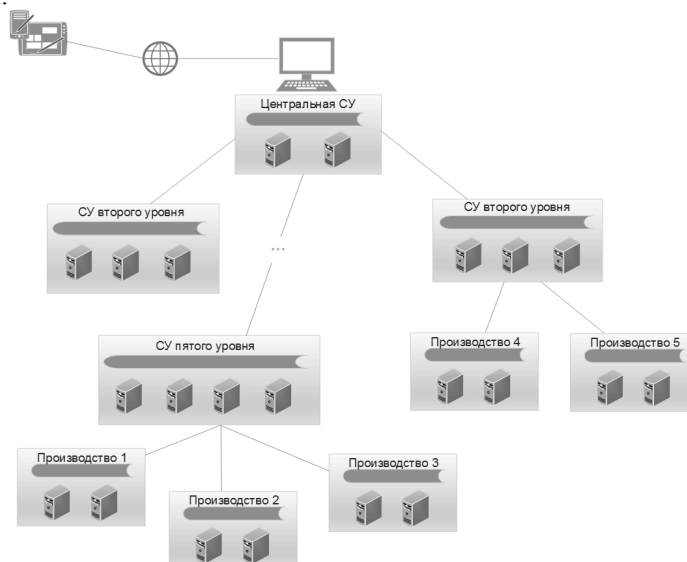


Рис. 3. Общая архитектура многоагентной системы управления

В качестве исполнительных устройств, на основе которых должна строиться предлагаемая система управления энергопотоками, являются умные сетевые изделия (рис. 4). Мозговым центром такого устройства является специализированное программное обеспечение на базе логического контроллера.



Рис. 4. Принцип построения и задачи умного сетевого изделия

Умное сетевое изделие объединит в себе как основные функции традиционного исполнительного устройства, так и возможность осуществлять в автоматическом режиме обмен информации со всеми объектами энергосистемы. Развитие подобной инновационной системы управления стало возможным при включении в состав исполнительных устройств программируемых контроллеров со специальным программным обеспечением.

Помимо дистанционного контроля над объектом управления в предлагаемом подходе появилась возможность осуществлять удаленное управление его функционалом, получать характеристики состояния объекта управления и всего производства в целом.

Дальнейшее развитие сетевых изделий в области управления энергопотоками связано с переходом от локальных систем управления на конкретном объекте к системам оптимизации процесса управления всем территориальным энергопотоком. Это предполагает прозрачность работы как отдельных объектов, так и всего комплекса устройств, что позволит максимально оптимизировать работу всей энергосистемы, увеличив эффективность и уменьшив стоимость конечного продукта. Итоговым результатом инфраструктурного проекта является повышение эффективности производства и передачи электроэнергии конечным потребителям, что снизит их затраты на энергообеспечение (рис. 5).



Рис. 5. Задачи, решаемые в многоагентных системах энергообеспечения с развитием систем управления

Реализация новых энергоэффективных технологий в настоящее время является одной из основных политик, развиваемых Министерством энергетики РФ. Выступая на ежегодном международном форуме Xperience Efficiency 2014, который проходил 18–19 июня 2014 года в Москве, заместитель министра энергетики Антон Инюцын отметил: «Внедрение энергоэффективных технологий, современных систем учета не только помогает снизить расход топлива, рост энергоэффективности оказывает комплексное воздействие на всю экономику, на многие отрасли. И благодаря развитию энергоэффективности появляется спрос на инновации, повышается производительность труда и конкурентоспособность» [5].

Таким образом, развитие подобных распределенных систем управления вписывается в общие планы развития государства.

Один из авторов данной работы, являясь аспирантом, занимается разработкой модели региональной системы управления энергопотоками совместно с московским представительством одной из ведущих энергетических компаний.

Библиография

1. Арутюнов В.С. Некоторые тенденции в энергетике в XXI веке // Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева. 2008. Т. LII, № 6. С. 4–10.
2. Все новости России и мира от NEWSru.com. Германия объявила о полном отказе от ядерной энергетики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.newsru.com/world/30may2011/atom.html>.
3. Бурное Солар-1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bs-1.kz>.
4. Популярная механика. Германия станет самой «зеленой» державой [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.popmech.ru/technologies/47369-germaniya-stanet-samoy-zelenoy-derzhavoy>.
5. Ежегодный форум Schneider Electric. Xperience efficiency 2014 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://xee.schneider-electric.ru>.

**СЕТЕВАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В СРЕДЕ ВИРТУАЛИЗАЦИИ.
КОНТРОЛЬ И ИЗОЛЯЦИЯ СЕТЕВОГО ТРАФИКА МЕЖДУ
ВИРТУАЛЬНЫМИ МАШИНАМИ НА ОДНОМ ФИЗИЧЕСКОМ СЕРВЕРЕ**

*** Антонов Д.В., Шурпо А.Н.**

ИКТИ РАН

*** dmitry@antonov-f.ru**

Рассмотрена организация контроля над обменом данными между виртуальными машинами, запущенными на одном физическом сервере при помощи расширения функций виртуального коммутатора до межсетевого экрана. Основной особенностью межсетевого экрана является контроль над передачей данных путем пакетного анализа и фильтрации данных.

Ключевые слова: сетевая безопасность, виртуализация, виртуальный коммутатор, межсетевой экран.

**NETWORK SECURITY IN A VIRTUALIZATION ENVIRONMENT,
THE CONTROL AND ISOLATION OF NETWORK TRAFFIC
BETWEEN VIRTUAL MACHINES ON THE SAME PHYSICAL SERVER**

Antonov D.V., Sherpo A.N.

IDTI RAS

The organization of control over the exchange of data between virtual machines running on a single physical server using virtual switch function expansion to the firewall. The main feature of the firewall is to control the transfer of data through packet analysis and data filtering.

Keywords: network security, virtualization, virtual switch, firewall.

В современном мире с развитием вычислительных систем обеспечение бизнеса производится большим количеством информационно-технических сервисов. Сервисы электронной почты, электронного документооборота, бухгалтерского учета, совместная работа над документами и другие, а также различные «вспомогательные» сервисы, обеспечивающие распределение прав доступа, базы данных, обмен файлами, выдача IP-адресов, преобразование имен в IP-адреса и другие [1]. По рекомендациям разработчиков программного обеспечения, разворачивание каждого сервиса должно производиться на отдельной операционной системе и без виртуализации, это производилось на отдельном физическом сервере, по схеме – один сервис – один физический сервер. Каждый физический сервер имел подключение к сети через порты коммутатора (рис. 1), и сетевые инженеры, обеспечивающие работу сети, могли контролировать поток передаваемых данных как между серверами и автоматизированными рабочими местами, так и между серверами и при необходимости изолировать трафик, идущий от сервера при его компрометации.



Рис. 1. Схема подключения физических серверов

С развитием технологий производства процессоров и увеличением их производительности утилизация процессора одним сервисом упала до очень низкого предела, и виртуализация [2] позволила запускать на одном физическом сервере несколько операционных систем и в каждом отдельном сервисе (рис. 2). Это разделение физического сервера привело к невозможности контроля сетевого трафика между виртуальными машинами, работающими на одном физическом сервере, и при получении злоумышленником контроля над одним из виртуальных серверов он получает возможность атаковать другие операционные системы, расположенные на одном с ним физическом сервере, а также и на основной операционной системе с платформой виртуализации.

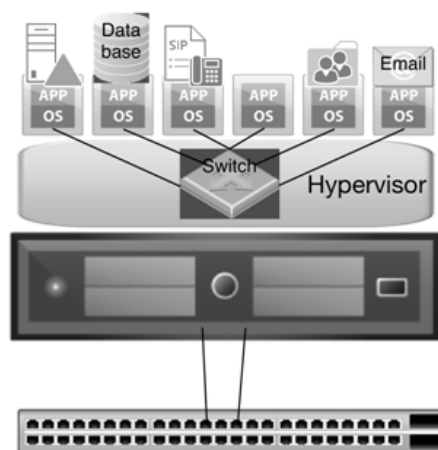


Рис. 2. Схема взаимодействия виртуальных серверов

Для контроля трафика предлагается использовать расширение функционала виртуального коммутатора [3] до уровня межсетевого экрана [4], работающего в прозрачном режиме (рис. 3). Это обеспечивается при помощи создания дополнительных таблиц, в которых будет содержаться информация о MAC-адресах, IP-адресах, портах и состояниях TCP-сессий, на основе которых можно создавать правила обработки проходящего трафика. Таким образом, полученная возможность анализа, проходящих ethernet-фреймов на предмет, откуда пришёл, куда направляется и к какому сервису сформирован запрос при построении правил по принципу «белого списка» позволит отбросить любые фреймы, не описанные списками доступа.

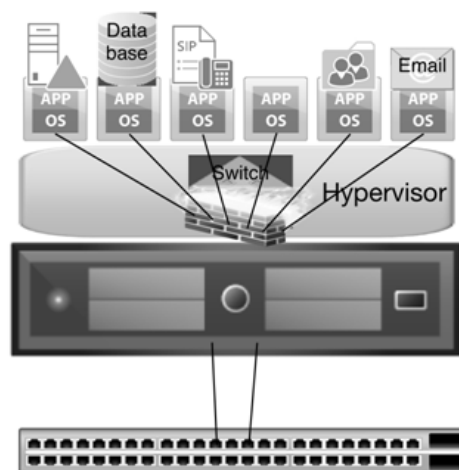


Рис. 3. Схема взаимодействия виртуальных серверов через межсетевой экран

Такой межсетевой экран позволит изолировать серверы, которые не должны будут взаимодействовать друг с другом, даже находясь в одном широковещательном домене. Анализ проходящего трафика производится последовательным сравнением пришедшего фрейма с таблицами, размещёнными в оперативной памяти сервера с платформой виртуализации, на котором запущен виртуальный коммутатор.

Предлагаемый способ защиты виртуальных машин позволяет повысить безопасность путем изоляции и контроля трафика методом задействования собственных ресурсов физического сервера для размещения в оперативной памяти дополнительных таблиц и незначительного увеличения нагрузки на центральный процессор.

Библиография

1. Танаев А. Программирование сокетов. Установление связи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lib.ru/LINUXGUIDE/sockets.txt> – // 1998.
2. Самойленко А. Виртуализация RHEV [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vmg.ru/search/RHEV> // 2015.
3. Жбанков А. Виртуальные сети в VMware vSphere. Standard vSwitch – Ч. 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://itband.ru/2010/09/vmware-vswitch1> // 2010.
4. Andreasson O. Руководство по iptables. 3.4. Таблица Filter [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.opennet.ru/docs/RUS/iptables/> // 2001–2003.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И РАСЧЕТНОЙ МЕТОДИК ОЦЕНКИ ДЕФОРМАЦИЙ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ РЕЗАНИИ

*Козочкин М.П., Алленов Д.Г.

МГТУ «СТАНКИН»

*f.sabirov@stankin.ru

Рассмотрены вычислительные возможности оценки деформаций поверхностного слоя при обработке деталей лезвийным инструментом с различным уровнем износа. Проводится экспериментальное сравнение результатов вычисления с данными, полученными по результатам анализа искажений координатной сетки при резании.

Ключевые слова: резание, поверхностный слой, деформации, износ инструмента, метод конечных элементов.

COMPARATIVE ANALYSIS OF EXPERIMENTAL AND COMPUTATIONAL METHODOLOGIES TO ASSESS THE DEFORMATION OF THE SURFACE LAYER OF PARTS IN CUTTING

Kozochkin M.P., Allenov D.G.

MSTU «STANKIN»

Considered computing the possibility of estimating the deformation of the surface layer in machining cutting tool with different levels of wear. Conducted experimental comparison of calculation results with the data obtained by results of the analysis of the distortion of the grid during cutting.

Keywords: metal cutting, surface layer, deformation, tool wear, finite element method.

Современное производство характеризуется широким применением высокопрочных и труднообрабатываемых материалов, высокими требованиями к точности и качеству изделий, значительным усложнением конструктивных форм деталей машин, получаемых обработкой резанием. В связи с этим процесс механической обработки требует постоянного совершенствования.

При рассмотрении процесса резания металлов с точки зрения физики легко можно отметить аналогию с операциями пластического деформирования. Деформации и разрушение, имеющие место при резании, протекают в соответствии с общими положениями и закономерностями, соответствующими пластической деформации [1, 2]. При внедрении режущего клина инструмента в материал детали перед ним возникают поля упругой и пластической деформации. В первом приближении отделение стружки происходит по условной линии сдвига ab (рис. 1), где возникающие напряжения превышают предел прочности материала.

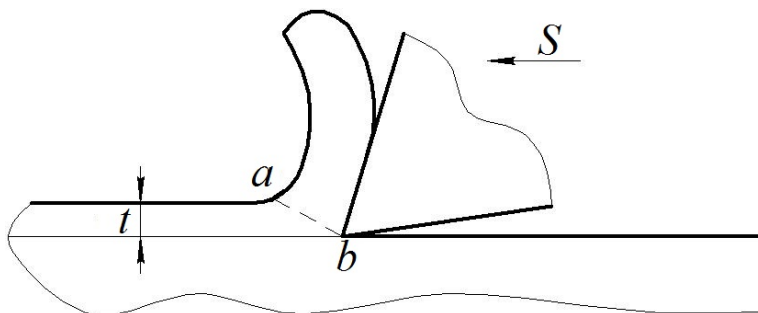


Рис. 1. Схема резания с указанием условной линии сдвига ab

Таким образом, обработка резанием – это процесс формообразования деталей, основанный на отделении части материала путем его специально организованного разрушения.

Предсказание таких технологических параметров, как: распределение температуры, сил резания и напряжений, играют существенную роль в оптимизации геометрии инструмента и режимов резания [1, 2]. Экспериментальное определение оптимального сочетания таких параметров требует больших финансовых и временных затрат. Упростить подобные исследования может популярная в настоящее время методика конечно-элементного моделирования (КЭМ). Данная работа посвящена сопоставлению расчетов с использованием методики КЭМ с результатами экспериментов при исследовании влияния износа режущего инструмента на остаточные деформации поверхностного слоя обрабатываемого изделия.

Для этих целей предварительно участок поверхности заготовки разбивался на конечные элементы (КЭ) с размером ячеек 0,05 мм. При этом в окрестности контакта инструмента с заготовкой размер КЭ составлял 0,005 мм. Основные сложности возникли с моделированием износа режущей кромки. В программе «Defornt» есть возможность варьирования переднего и заднего углов инструмента и изменения радиуса скругления режущей кромки, имитирующих

износ инструмента. Однако это не позволяет смоделировать реальную форму износа, которая часто гораздо сложнее цилиндрической формы кромки и во многих моментах формируется случайным образом. Тем не менее, представляет интерес рассмотрение, например, полей деформаций в зоне резания и влияния варьируемых параметров износа режущей кромки на деформации поверхностного слоя для последующего сравнения с результатами натуральных экспериментов.

Для сопоставления результатов расчетов и экспериментов среди возможных параметров была выбрана величина интенсивности деформаций ($\epsilon_{инт}$), которая для трехмерного пространства определяется по формуле [3]:

$$\epsilon_{инт} = C_{\mu} \sqrt{(\epsilon_y - \epsilon_z)^2 + (\epsilon_z - \epsilon_x)^2 + (\epsilon_x - \epsilon_y)^2 + \frac{\pi}{2} (\gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2 + \gamma_{xy}^2)}, \quad (1)$$

где ϵ и γ – линейные и угловые деформации по соответствующим осям x , y и z и в соответствующих плоскостях yz , zx и xy ; C_{μ} – константа, зависящая от коэффициента Пуассона. Для плоской модели в формуле (1) деформации с индексом « z » приравниваются к нулю. Полученное с помощью КЭМ-моделирования графическое изображение этапов формирования поля распределения $\epsilon_{инт}$ в зоне резания при образовании стружки показано на рис. 2.

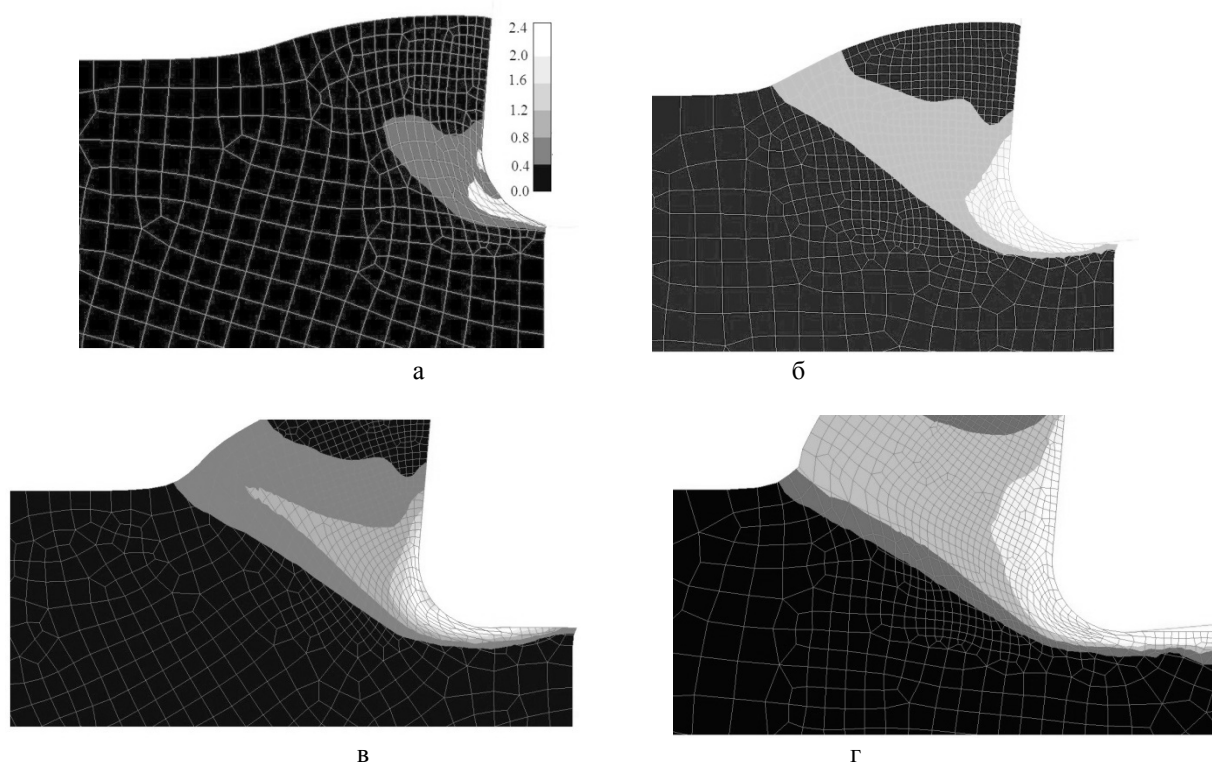


Рис. 2. Изменение деформаций в зоне резания по мере врезания режущего инструмента

На рисунке видно постепенное по мере внедрения кромки в материал увеличение зоны высоких значений $\epsilon_{инт}$, которая формируется в окрестности условной плоскости сдвига. Объем этой зоны в значительной мере определяется радиусом скругления режущей кромки. Чем больше радиус, тем большая доля материала «подминается» задней поверхностью инструмента, тем большая глубина внедрения требуется для начала формирования стружки [4–6]. Соответственно, показанная на рис. 2 деформация поверхностного слоя значительно меньше деформаций стружки, но она тоже растет по мере внедрения режущего клина и увеличивается с ростом радиуса кромки.

На рис. 2 видно, что наибольшие деформации сосредотачиваются в окрестности условной плоскости сдвига, форма этой линии далека от прямой линии, формирование трещины, отделяющей стружку, начинается от режущей кромки и распространяется в сторону сопряжения поверхностей заготовки и формируемой стружки. Увеличение радиуса режущей кромки, имитирующего в данном случае износ инструмента, приведет к расширению области, охватывающей участки со значимыми деформациями, а значит, и к росту энергетических затрат на формирование этих областей. На рисунке также видно, что часть областей с различными величинами интенсивности деформаций остаются в поверхностном слое, насыщая его обилием дислокационных скоплений и микротрещин. При создании ответственных изделий по глубине проникновения деформаций можно оценивать значения припуска, необходимо-го на дальнейшую чистовую обработку.

Самым сложным моментом при моделировании формы износа режущей кромки является приближение формы износа в зоне контакта участком окружности с радиусом « r ». Такой подход предполагает, что по мере развития фаски износа по задней поверхности инструмента идет постепенное разрушение и передней поверхности, и самой режущей кромки. В результате должно возникать подобие радиусной поверхности режущей кромки, радиус которой тем больше, чем больше фаска износа по задней грани. В отличие от радиуса размер фаски износа контролировать наиболее просто. Подобный подход имеет место и в трибологии, где относительная глубина внедрения индентора, играющая важную роль при оценке момента перехода внешнего трения к микрорезанию (геометрический фактор), определяется отношением глубины внедрения « h » к радиусу « r » самого индентора. При каких-то услови-

ях формирования неровностей во фрикционном контакте и участков износа инструмента такой подход приемлем, но часто приходится наблюдать большое разнообразие геометрических форм износа твердосплавного инструмента. На каких-то этапах износа можно наблюдать даже уменьшение радиуса скругления режущей кромки. Такое явление, например, возникает при высоких скоростях резания, когда износ по задней грани опережает разрушение кромки со стороны передней грани, и возникает эффект самозатачивания.

Для экспериментальной оценки влияния износа режущей кромки на деформацию поверхностного слоя были взяты пять режущих пластин в разной стадии износа (рис. 3), который формально оценивался по ширине « h_z » фаски износа по задней грани: 1 – $h_z=0$ мм; 2 – $h_z=0,6$ мм; 3 – $h_z=0,68$ мм; 4 – $h_z=1,1$ мм; 5 – $h_z=0,8$ мм. Необходимо отметить, что второй образец имел почти такой же размер фаски износа (рис. 3а), как и третий образец (рис. 3б), но у него была практически целая режущая кромка, а у третьего образца наблюдались следы разрушения (рис. 3б). Четвертый образец имел самый большой размер фаски износа (рис. 3в), но разрушенная кромка имела сравнительно острые края, что было связано с развитием лунки износа по передней грани. В пятом образце (рис. 3г) фаска износа и объем разрушений меньше, но режущая кромка плавно переходит в отрицательный передний угол. На рис. 3 показаны вершины использовавшихся образцов режущих пластин с наибольшим износом.

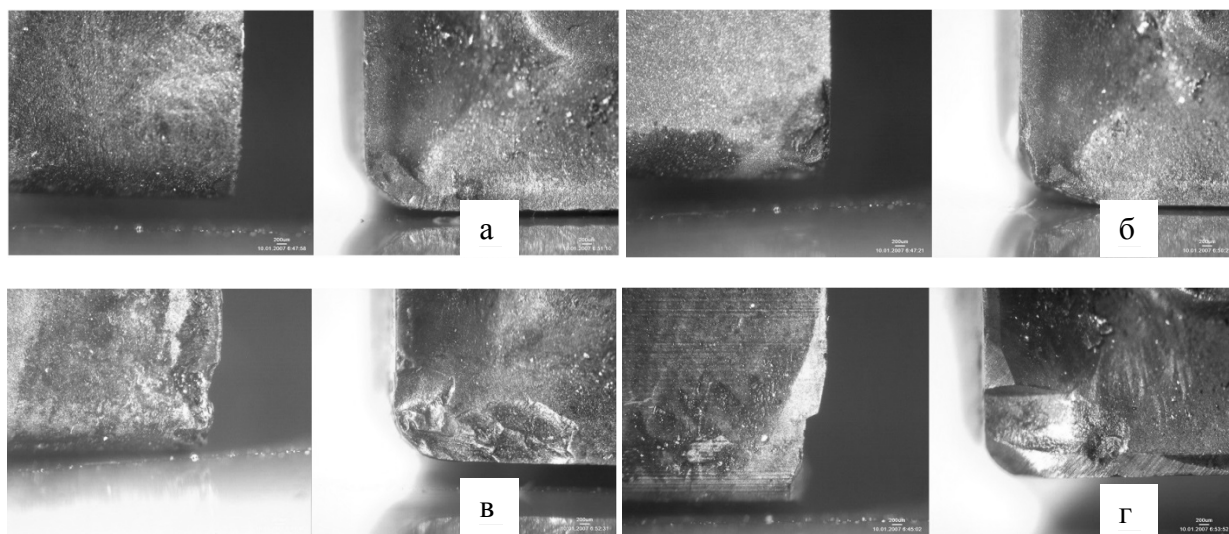


Рис. 3. Примеры изношенных вершин режущих пластин:
а – $h_z=0,6$ мм; б – $h_z=0,68$ мм; в – $h_z=1,1$ мм; г – $h_z=0,8$ мм

Резцами, оснащенными пластинами с разной степенью и формой износа, проводилась обработка стальных заготовок на строгальном и токарном станках. Для последующей оценки комплексной характеристики плоского деформированного состояния поверхностных слоев, получаемых после обработки, на боковые поверхности заготовок наносили координатную сетку. Сетка наносилась с помощью корундовой иглы, закрепляемой в специальном приспособлении. Предварительно проводилась тщательная выверка траектории движения иглы в параллельных и перпендикулярных направлениях относительно обрабатываемой поверхности. В результате на боковой поверхности детали появлялась координатная сетка с квадратными ячейками со стороной 0,1 мм. На рис. 4 показаны фотографии с примерами такой сетки в исходном состоянии (рис. 4а) и в деформированном состоянии (рис. 4б) после обработки поверхности на строгальном станке.

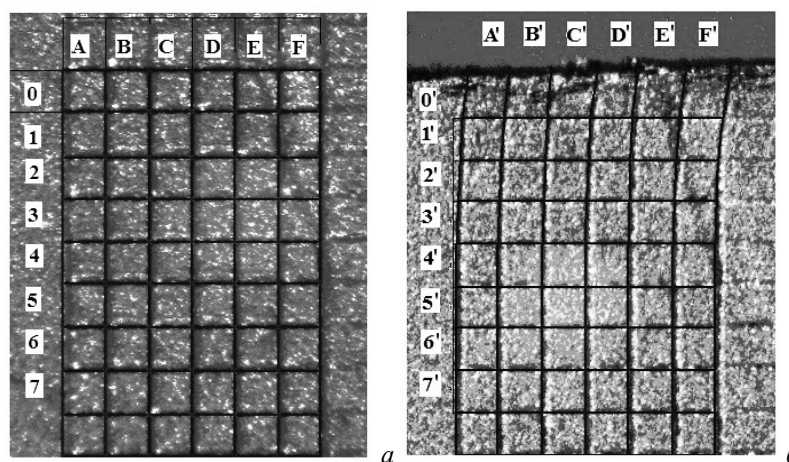


Рис. 4. Вид координатной сетки на боковой поверхности заготовки в исходном состоянии (а) и после обработки (б). Буквы и цифры определяют координаты ячеек до и после деформаций

Толщина снимаемого слоя составляла 0,5 мм, подача составляла 0,1 мм/д.х., скорость резания 40 м/мин. Анализ угловых и линейных деформаций координатной сетки позволил определить для всех пяти образцов режущих пластин комплексную характеристику плоского деформированного состояния $\epsilon_{\text{инт}}$ для всех пяти экспериментальных образцов режущих пластин. На рис. 5 показано изменение интенсивности деформаций по глубине поверхностного слоя для случая расчетов с применением методики КЭМ при разных значениях радиуса скругления режущей кромки. На рис. 6 показаны результаты экспериментального определения $\epsilon_{\text{инт}}$ при резании пластинами с описанными выше вариантами износа режущей кромки.

К рис. 5 можно сделать такие замечания: с ростом радиуса скругления режущей кромки величина $\epsilon_{\text{инт}}$ закономерно увеличивается, но при $r=0,12$ мм наблюдаются большие деформации самых верхних слоев при минимальных деформациях на глубинах более 0,2 мм. Это anomальное положение требует дальнейшего осмысления, но его трудно проверить, поскольку на практике таких радиусов при износе инструмента не встречается. Здесь может сказываться еще и тот факт, что в программе «Deform» технологическая система принимается абсолютно жесткой. Это допущение формирует более значительные объемы деформируемого («подминаемого») материала, которые влияют на вычисляемые значения деформаций в поверхностных слоях детали.

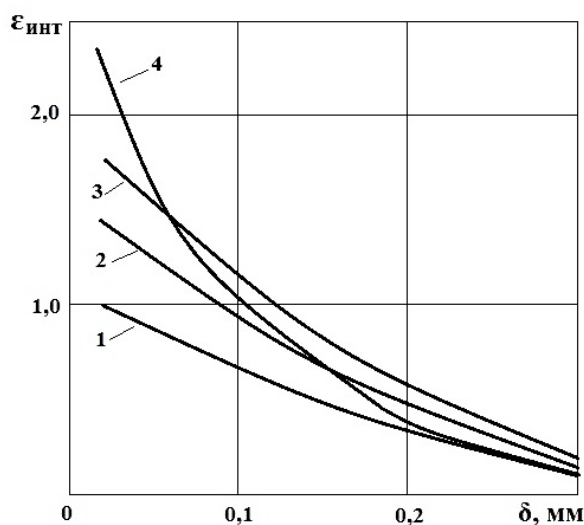


Рис. 5. Изменение $\epsilon_{\text{инт}}$ по глубине поверхностного слоя при разных радиусах скругления (1 – $r=0,02$ мм; 2 – $r=0,05$ мм; 3 – $r=0,09$ мм; 4 – $r=0,12$ мм)

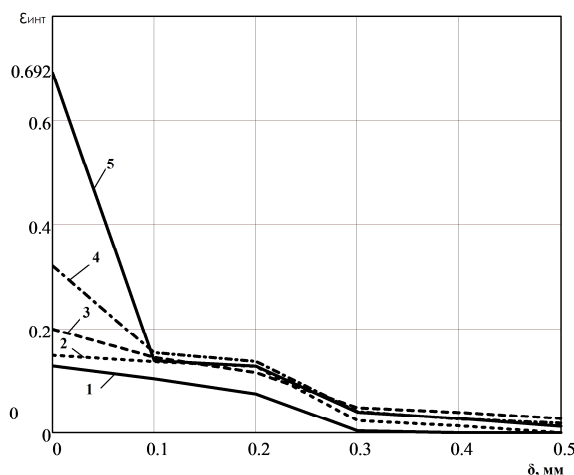


Рис. 6. Изменение интенсивности деформаций по глубине поверхностного слоя для пластин с разным износом режущей кромки: 1 – $h_z=0$ мм; 2 – $h_z=0,6$ мм; 3 – $h_z=0,68$ мм; 4 – $h_z=1,1$ мм; 5 – $h_z=0,8$ мм

На графиках рис. 6 видно, что основные деформации наблюдаются в поверхностном слое, располагающемся до глубины 100 мкм. Здесь наблюдается закономерный рост деформаций с ростом износа режущей кромки. Исключение составляет пластина № 5, которая имеет меньший износ по задней грани по сравнению с пластиной № 4, но деформации поверхностного слоя при ее использовании на 35 % больше. Это говорит о том, что деформация поверхностного слоя определяется, главным образом, формой режущей кромки, которая в значительной степени влияет и на вибрации при резании [7–10]. В качестве другой аномалии можно отметить пластину № 3, деформации от которой на глубине более 0,4 мм даже несколько превышают деформации от пластины № 5. Как и при расчете на глубинах более 0,3 мм $\epsilon_{\text{инт}}$ значительно меньше по сравнению с глубинами до 50 мкм, но они характеризуются

тем, что при малом износе их почти незаметно, а при росте износа они резко увеличиваются в несколько раз. Если судить по графикам на рис. 6, то прирост деформаций по мере развития износа режущей кромки на глубине более 0,3 мм развивается скачкообразно. Для пластин №3-5 деформации на глубине более 0,3 мм близки, и они в несколько раз больше деформаций, сопутствующих работе пластинами № 1 и № 2. В отличие от графиков на рис. 5, убывающих близко к линейному закону, графики на рис. 6 убывают по закону, напоминающему гиперболу. Этот факт говорит о том, что на глубине около 50 мкм формируется сравнительно узкий слой материала, на границах которого интенсивность деформаций существенно различается. Это создает предпосылки для формирования микротрещин и дислокационных скоплений, которые при дальнейшей эксплуатации смогут сформировать макротрещины, выходящие на поверхность детали. Причина такого различия в изменении $\varepsilon_{\text{инт}}$ по глубине поверхностного слоя при расчетах методом КЭМ и при натурных экспериментах в том, что программа расчета не учитывает в полной мере значительного изменения температуры в верхних слоях поверхности. В реальных условиях температура вблизи режущей кромки соизмерима с температурой плавления. При достижении металлами гомологической температуры более 0,5 единиц происходит ускоренное падение твердости металлов, что и вызывает повышенную деформацию самых верхних слоев [11, 12].

Выводы. Перечисленные особенности и аномалии говорят о том, что расчетные методики хотя и формируют качественно подобную картину развития деформаций с увеличением износа инструмента, но дают завышенные значения $\varepsilon_{\text{инт}}$ и не могут учесть всех особенностей изменения формы режущей кромки и влияния этих изменений на деформации особенно глубинных слоев обработанной поверхности. В связи с вышесказанным становится актуальным вопрос развития и совершенствования моделирования процессов резания средствами метода КЭМ. Также становится актуальным вопрос мониторинга состояния режущего инструмента при обработке ответственных деталей, имеющих ограничения на величину деформаций поверхностного слоя [13].

Библиография

1. Яхутлов М.М., Батыров У.Д., Нартыжев Р.М. Проблемы внедрения нанотехнологий размерной обработки деталей // Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. 2011. Т. 1, № 4. С. 163–165.
2. Яхутлов М.М., Карамурзов Б.С., Батыров У.Д., Ошхунов М.М., Карданова М.Р. Напряженно-деформированное состояние системы зерно–матрица алмазного инструмента при силовых возмущениях // Сверхтвёрдые материалы. 2009. № 6. С. 81–88.
3. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: учебник. – М.: МГТУ, 1999. 592 с.
4. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчета на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977. 526 с.
5. Козочкин М.П., Смирнов В.В. Экспериментальное исследование акустических явлений при трении твердых тел // Трение и износ. 1983. Т. 4, № 6. С. 991–994.
6. Козочкин М.П., Порватов А.Н. Влияние адгезионных связей во фрикционном контакте на виброакустический сигнал и автоколебания // Трение и износ. 2014 (35). № 5. С. 575–583.
7. Исаев А.В., Козочкин М.П. Применение информационно-измерительной системы для повышения точности обработки тонкостенных деталей на фрезерных станках с ЧПУ // Измерительная техника. 2013. № 10. С. 42–46.
8. Исаев А.В., Козочкин М.П., Порватов А.Н. Информационно-измерительная система контроля вибраций при металлообработке // Метрология. 2011. № 8. С. 18–25.
9. Григорьев С.Н., Козочкин М.П., Сабиров Ф.С., Синопальников В.А. Диагностика технологического оборудования в современном станкостроении // Технология машиностроения. 2012. № 1. С. 45–50.
10. Grigoriev S.N., Kozochkin M.P., Sabirov F.S., Kutin A.A. Diagnostic systems as basis for technological improvement // Procedia CIRP. 2012. V. 1. P. 599–604.
11. Козочкин М.П. Нелинейная динамика процесса резания // СТИН. 2012. № 1. С. 6–12.
12. Козочкин М.П. Динамика процесса резания. Теория, эксперименты, анализ. Saarbrücken: LAMBERT Academic Publishing, 2013. 290 с.
13. Козочкин М.П. Виброакустическая диагностика технологических процессов. М.: Каталог, 2005. 196 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ АЛЮМИНИЯ КОМПЛЕКСНЫМИ МЕТОДАМИ

*Куликов М.Ю.¹, Иноземцев В.Е.², Бочаров А.А.²

¹ИКИ РАН

²Московский государственный университет путей сообщения

*muk.56@mail.ru

Рассматриваются различные сочетания фрезерной обработки заготовок из алюминия с наложением электрической цепи, с различными смазочно-охлаждающими технологическими средами. Как результат обработки – различное качество поверхностного слоя. Данный процесс возможно регулировать в широком диапазоне. Рассматриваются возможности обеспечения требуемого качества получаемой поверхности при обработке и снижение интенсивности нежелательных динамических и тепловых воздействий на технологическую систему и процессы формообразования в современных условиях обрабатывающей промышленности.

Ключевые слова: алюминий, фрезерование, чистовая обработка, шероховатость, комбинированная обработка, параметры качества, режимы, СОТС.

THE RESEARCHING OF SURFACE QUALITY AFTER MILLING ALUMINUM BY COMPLEX METHODS

Kulikov M.Yu.¹, Inozemtsev V.E.², Bocharov A.A.²

¹IDTI RAS, ²Moscow State University of Railway Engineering

Here considers various combinations of milling of aluminum billet with electric current action and coolants environments. As a result of the processing – is creation a different quality of the surface layer. This process are controllable in a wide range. Also this article considers the possibilities of providing the required surface quality during processing and reducing the intensity of unwanted dynamic and thermal effects for technological systems and processes of formation in modern conditions of the manufacturing industry.

Keywords: aluminum, milling, finishing, surface roughness, the combined machining method, quality parameters, modes, the cutting fluids.

Наибольшая часть всех технологических операций, связанных с формообразованием приходится на механическую обработку, при этом операции, связанные с фрезерованием, занимают существенную долю всех процессов механообработки в самых различных отраслях производства.

По критерию достижения шероховатости к труднообрабатываемым материалам можно отнести алюминиевые сплавы. Высокая шероховатость обработанной поверхности у данных материалов связана с их основными механическими свойствами – высокой пластичностью и ударной вязкостью, что приводит к образованию элементной стружки, значительному вытягиванию зерен металла в направлении отделения стружки и вибрации технологической системы. Однако, с практической точки зрения, данный вопрос решен путем увеличения скорости резания и подбора оптимального состава смазочно-охлаждающих технологических сред СОТС [1].

При чистовом фрезеровании меньше как глубина резания (около 0,25–0,5 мм), так и подача на зуб (около 0,05–0,15 мм/зуб). Так как не требуется такая высокая мощность станка, как для чернового фрезерования, становится возможным применение торцевых фрез с мелким шагом пластин. Большее количество пластин позволяет вести обработку с большей минутной подачей стола, хотя подача на зуб фрезы невелика. Проблем с размещением стружки также, как правило, не возникает из-за небольшой глубины резания [2].

В процессе изучения формообразования и аспектов формирования качества при механообработке установлено, что эффективно способствовать повышению качества поверхности алюминия и его сплавов при токарных операциях может комплексная анодно-механическая обработка (АМО) [3].

В отличие от токарной обработки, при фрезеровании необходимо учитывать иной характер взаимодействия режущего инструмента с обрабатываемой поверхностью, а также наличие нескольких режущих кромок, что может способствовать росту шероховатости на макроуровне.

Современная обработка высокопрочных алюминиевых сплавов твердосплавным инструментом ведется на скоростях 1000–3000 м/мин.

При изучении эффективности технологии фрезерной обработки [4] установлено, что отсутствует какая-либо тесная взаимосвязь между шероховатостью и режимными параметрами обработки. Также преобладающее влияние на шероховатость оказывают параметры оборудования: допустимый крутящий момент на шпинделе, мощность, жесткость. Помимо этого, при соблюдении требований к оборудованию при фрезеровании алюминиевых сплавов шероховатость обработанной поверхности может находиться в пределах Ra 0,6–0,8 мкм.

Большое влияние на качество формирования поверхностного слоя деталей из алюминиевых сплавов оказывают жёсткость и точность позиционирования применяемого в операциях технологического оборудования. В настоящее время параметры качества обеспечиваются за счёт применения современного высокопроизводительного станочного оборудования с числовым программным управлением, данное оборудование позволяет осуществлять высокоскоростную механообработку HSM (High Speed Machining). Её отличительной особенностью является высокая скорость резания, при которой значительно увеличивается температура в зоне образования стружки, материал обрабатываемой детали становится мягче, и силы резания уменьшаются, что позволяет инструменту двигаться с большой рабочей подачей. Достижение эффекта HSM обусловлено структурными изменениями материала в зоне отрыва стружки. Это связано с образованием пластических деформаций, происходящих с высокой скоростью. При повышении скорости деформаций силы резания первоначально растут, а потом, с достижением определенной температуры в зоне образования стружки, начинают значительно сокращаться. При этом время контакта режущей кромки с заготовкой и стружкой так мало, а скорость отрыва стружки столь высока, что большая часть тепла, образующегося в зоне резания, удаляется вместе со стружкой, а заготовка и инструмент не успевают существенно нагреваться. Этот эффект уже известен ранее. Обработка алюминия и его сплавов с помощью HSM имеет множество особенностей, связанных с характеристиками оборудования и точностью управляющих программ для HSM-траекторий. На основе многих исследований процессов обработки и HSM-программирования специалистами [5] выработаны различные рекомендации, связанные непосредственно с выбором оборудования, режимов резания, выбором и позиционированием режущего инструмента.

Также в настоящее время известно преимущество использования анодно-механической обработки [6], с помощью которой можно получать детали более высокого качества, а также обеспечить значительное повышение работоспособности и износостойкости режущего инструмента. Однако анодно-механическое фрезерование пока не имеет широкого распространения. Также известно [5, 6], что при чистовых и финишных операциях анодно-механической обработки наиболее эффективны схемы резания, включающие в себя последовательное действие механической, а затем электрохимической составляющей. В основе данного способа обработки лежит сочетание электроконтактного взаимодействия инструмента и заготовки (механическое разрушение или формоизменение металлических поверхностей, производимое одновременно с нагревом или расплавлением этих поверхностей электрическим током) и гальванического процесса (в данном случае, анодного растворения металла с обрабатываемой поверхностью). Движущийся инструмент не только подводит ток и удаляет размягченный металл, но и, благодаря вибрации, способствует возникновению множества прерывистых контактов, необходимых для образования дуговых разрядов [7]. Электроконтактная обработка может выполняться как в воздушной, так и в жидкой среде. Производительность обработки почти линейно растет с увеличением напряжения и мощности источника питания.

Существенную роль на качество формируемой поверхности при анодном фрезеровании алюминиевых сплавов оказывают: материал заготовки и режущего инструмента, число зубьев фрезы, режимы резания, геометрические параметры и точность позиционирования применяемых сменных режущих пластин, взаимное расположение фрезы относительно заготовки (симметричное/несимметричное фрезерование), направление фрезерования (встречное/попутное), наростообразование, величина тока и напряжения в зоне контакта инструмента и заготовки, наличие и вид смазочно-охлаждающей технологической среды (или состав и концентрация электролита), а также способ её подачи. Следовательно, анодное фрезерование позволяет управлять качеством обработки и оптимизировать технологический процесс за счёт широкого спектра возможных значений любого из воздействующих факторов.

Проведённые эксперименты по фрезерованию алюминиевых пластин с обеспечением различных условий процесса обработки показали возможность варьирования параметрами качества поверхности не только за счёт изменения режимов резания, но также благодаря наложению действия электрического поля постоянного тока с условиями разнополярного и однополярного подключения заготовки и режущего инструмента, и, дополнительно, совмещением действия электрического тока и СОТС. В качестве СОТС были рассмотрены водные растворы соли NaCl, кальцинированной соды Na_2CO_3 (с концентрацией 5 % на 1 л), раствор Cu_2SO_4 .

Исследование проводилось со скоростями резания V 42 м/мин и 60 м/мин. В качестве инструмента использовалась концевая трехзубая фреза диаметром 12 мм из твёрдого сплава Т5К10. Подача составляла 25 мм/мин. Глубина резания составляла 0,5 мм.

При скорости резания 42 м/мин наименьшая шероховатость составила Ra 0,30 при резании с электрическим током и раствором кальцинированной соды Na_2CO_3 .

Библиография

1. Бреев С.В., Серебренникова А.Г. Высокоскоростное фрезерование труднообрабатываемых материалов. Особенности обрабатываемости при фрезеровании // Учёные записки. 2013. IV-1(16). С. 59–65.
2. Портал точной механической обработки ТОЧМЕХ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tochmeh.ru/info/frez2.php>.
3. Куликов М.Ю., Иноземцев В.Е., Нечаев Д.А., Мо Наинг У. Совершенствование способа чистовой анодно-механической обработки цветных металлов и их сплавов // Научно-технические технологии в машиностроении. 2014. № 11. С. 19–22.
4. Суслов А.Г. Качество поверхности слоя деталей машин. М.: Машиностроение, 2000. 154 с.
5. Интерактивный каталог режущего инструмента [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.good-tool.ru/obr_mat/al.htm.
6. Грубый С.В., Зайцев А.М. Повышение эффективности технологии фрезерной обработки деталей из перспективных алюминиевых сплавов на современном оборудовании с ЧПУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mt2.bmstu.ru/old/BMR2010/a2/5.pdf>.
7. Степанов А.В. Высокоскоростное фрезерование в современном производстве // CAD/CAM/CAE. 2003. Обсервер 4 (13). С. 2–8.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЁЖНОСТИ ПРОЦЕССА РЕЗЬБОНАРЕЗАНИЯ В ОТВЕРСТИЯХ СВЕРХМАЛОГО ДИАМЕТРА

Куликов М.Ю.¹, *Ягодкин М.В.²

¹Московский государственный университет путей сообщения

²ИКИ РАН

*yagodkin.maksim.513@mail.ru

Изучается процесс нарезания резьбы в отверстиях сверхмалого диаметра ($d < 1,5$ мм). Показано, что в процессе обработки существует большая вероятность поломки режущего инструмента, которая приводит к возникновению брака. Установлено влияние конструкторских особенностей отверстия на поломку инструмента и степень его изнашивания.

Ключевые слова: нарезание резьбы, сверхмалый диаметр, надёжность процесса, количество отказов.

RELIABILITY FOR RESEARCHES OF TAPPING HOLES OF ULTRA LOW DIAMETER

Kulikov M.Y.¹, Yagodkin M.V.²

¹²Moscow State University of Railway Engineering

²IDTI RAS

We study the process of tapping holes in ultra-low diameter ($d < 1,5$ mm). It is shown that during the treatment, there is a high probability of breakage of the cutting tool, which results in a marriage. The influence of design features holes in tool breakage and its degree of wear.

Keywords: tapping, ultra-small size, reliability of the process, the number of failures.

В современном машиностроении нарезание резьбы метчиком в отверстиях сверхмалых диаметров является сложной технологической задачей. Трудности обусловлены пониженной прочностью инструмента, сложностью подвода смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) в зону резания и отвода из неё образовавшейся стружки [1, 2].

Целью данной работы является изучение надёжности процесса нарезания резьбы сверхмалых диаметров ($d < 1,5$ мм) в деталях из алюминиевых сплавов.

Исследования проводились при нарезании резьбы М1,4х0,3 в предварительно просверленных отверстиях $\Phi 1,1^{+0,04}$ в алюминиевых сплавах марки АМг6.М ГОСТ 21631 – 76. Обработка производилась на станке «Фрезерная система с ЧПУ SP2215» с режимами $V = 60$ об/мин, $s = 0,3$. Качество получаемой резьбы контролировалось инструментом Пробка М1,4х03 5Н6Н 8221-0007 ГОСТ 17756-72.

Под надёжностью технологического процесса механической обработки понимается безотказное получение сочетания обработанных поверхностей, соответствующих техническим требованиям. При этом под отказом в функционировании технологического процесса понимается выпуск изделий, не соответствующих требованиям качества, которые включают в себя параметры точности.

Изучение процесса резьбонарезания в отверстиях сверхмалых диаметров показало, что основной причиной отказа является поломка режущего инструмента, приводящая к появлению брака. Поэтому контролировалась наработка на отказ, в качестве которой принималась поломка инструмента, получаемая при этом резьба должна соответствовать точностным требованиям.

Изучалось влияние длины нарезаемой резьбы в сквозных отверстиях на вероятность отказов. Диапазон длины резьбы составил от 2 до 7 мм с шагом 1 мм. На каждой длине было испытано по 100 метчиков. Моментом прекращения использования являлась либо поломка метчика, либо получение подряд ряда отверстий, не прошедших контроля качества.

Были получены следующие результаты. При длине 2 мм случаев поломки метчиков не наблюдалось. При длине 3 мм зафиксировано 10 случаев поломки инструмента в результате заклинивания. При дальнейшем увеличении длины резьбы количество отказов увеличивается (рис. 1а). При нарезании резьбы в глухих отверстиях наблюдается аналогичная тенденция (рис. 1б).

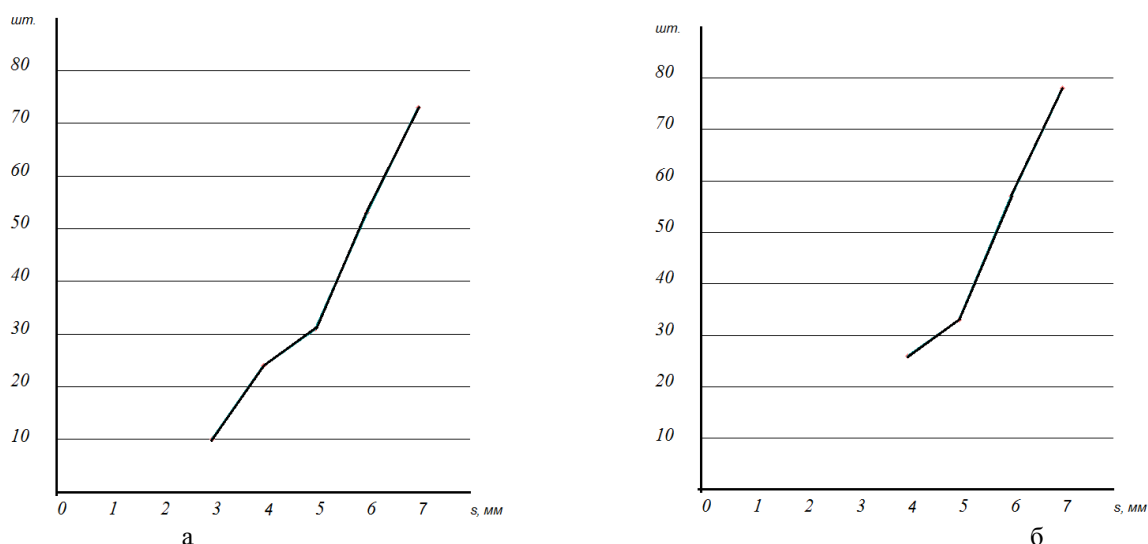


Рис. 1. Количество отказов при нарезании резьбы в сквозных отверстиях (а) и глухих отверстиях (б)

Начиная с длины 4 мм, нарезание резьбы осуществлялось введением реверсивного хода метчика, так как без него происходило закусывание метчика.

При длине 7 мм наблюдалось 73 случая отказа инструмента в результате его поломки, причём в 29 из них поломка метчиков наблюдалась в момент реверса, причём увеличение длины нарезаемой резьбы также приводит к увеличению случаев поломки инструмента в момент реверса (рис. 2).

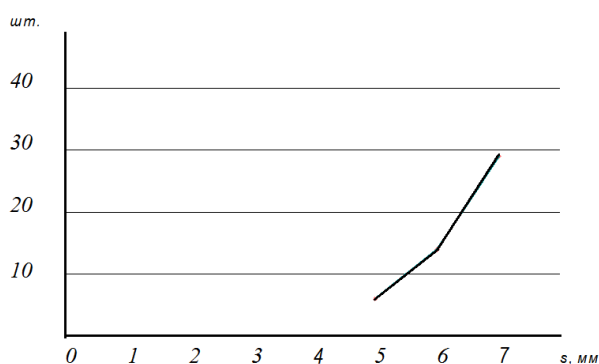


Рис. 2. Количество отказов при нарезании резьбы в момент реверса

При увеличении длины резьбы увеличивается вероятность поломки используемого метчика. Однако в этом случае вероятность отказов увеличивается, причём это повышение тем больше, чем больше длина нарезаемого отверстия.

Таким образом, произведённые исследования позволили сделать следующие **выводы**:

1. Основным видом отказа при нарезании резьбы в сверхмалых отверстиях является поломка используемого инструмента (метчиков).
2. На надёжность резьбонарезания оказывает влияние длина резьбы. С её увеличением резко возрастает число отказов вследствие поломки инструмента.
3. Надёжность резьбонарезания зависит также от конструкции отверстия. В глухих отверстиях вероятность поломки на 4–7 % выше, чем при нарезании резьбы в сквозных отверстиях.

Библиография

1. Черкасова Н.Ю. Повышение качества обработки отверстий в алюминиевых сплавах на основе применения режущего инструмента с покрытием: дисс. ... канд. тех. наук. М., 2010. 210 с.
2. Блинов Р.М. Разработка способов удаления стружки при соответствующем управлении её формы с целью повышения надёжности работы метчиков при нарезании резьбы в глухих отверстиях: дисс. ... канд. тех. наук. М., 2005. 184 с.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ*****Хапачев Б.С., Иванова Д.М.*****Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова*******itf@kbsu.ru***

Приведен анализ способов определения контактной температуры при алмазно-абразивной обработке материалов, в том числе и при правке абразивных кругов. Предложен способ определения контактной температуры при правке абразивных кругов, который включает осциллографирование выходных напряжений и аппроксимацию значений температуры функцией, впоследствии экстраполируемой до зоны резания. При этом фиксируют значения температуры, соответствующие начальному периоду износа инструментов, причем измерение температуры производят на различающихся по длине кристаллах.

Ключевые слова: контактная температура, инструмент из сверхтвердых материалов, правка абразивных кругов, искусственная термопара.

**DETERMINATION OF CONTACT TEMPERATURE
WHEN USING TOOLS OF SUPER HARD MATERIALS****Нарачев B.S., Ivanova D.M.*****Kabardino-Balkarian State University***

The analysis contact temperature determining methods at diamond abrasive processing of materials, including dressing grinding wheels is given. A method of determining the contact temperature for editing abrasive circles, which includes oscillographic process of output voltage and approximation of temperature value by a function, later extrapolated to the cutting zone is offered. At the same time temperature values corresponding to the initial period of tool wear are fixed, at the same time temperatures are measured on crystals of different length.

Keywords: contact temperature, tool of super hard materials, editing of abrasive circles, artificial thermocouple.

Температура, возникающая в контактной зоне при алмазно-абразивной обработке материалов, в значительной степени влияет на прочностные характеристики инструментов, их режущие свойства и является одним из наиболее важных показателей, по которому можно судить о механизме износа алмаза при эксплуатации инструментов.

Существует достаточно много работ, посвященных исследованию температурных полей как для стационарных [1–4], так и нестационарных [5–8] процессов. На практике при обработке токопроводящих материалов контактную температуру в зоне резания измеряют, как правило, с помощью естественной или полусинтетической термопары [1]. Для оценки температуры, возникающей на режущих кромках инструмента, широко используют также метод искусственной термопары. Однако он дает возможность регистрировать температуру лишь на некотором расстоянии от поверхности обработки (зоны резания). Поэтому для определения контактной температуры при правке абразивных кругов алмазным инструментом, когда в контакт вступают два диэлектрических материала, применяют экспериментально-аналитический метод [4, 5].

Сущность этого метода заключается в сочетании замера температуры искусственной термопарой в нескольких точках вне зоны контакта и расчета, позволяющего путем экстраполяции устанавливать температуру в зоне резания. Как правило, в указанных работах исследования температуры проведены без учета вынужденного конвективного теплообмена, характерного для процессов правки абразивных кругов алмазным инструментом.

Вместе с тем следует отметить, что известен способ определения контактной температуры и характера ее распределения в режущих инструментах при их эксплуатации с охлаждением [9, 10]. Этот способ предполагает использование искусственной термопары, которая монтируется в теле инструментального материала, а также осциллографирование ее выходного напряжения. При этом в процессе изнашивания инструмента периодически выполняют одновременные измерения расстояний от места перехода термоэлектродов в спай до рабочей поверхности кристалла и соответствующих этим расстояниям значений температуры с последующей аппроксимацией экспериментальных результатов функцией, впоследствии экстраполируемой до зоны резания.

Использование указанного способа позволяет лишь определить характер распределения температуры по длине кристалла, но не дает возможности экспериментально установить значение контактной температуры при правке абразивных кругов инструментами из сверхтвердых материалов (в частности, алмазными карандашами). По мере износа кристалла из сверхтвердых материалов в нем накапливаются повреждения (появляются трещины на рабочей поверхности алмаза) под действием циклически изменяющихся и многократно действующих термических напряжений. Процесс накопления повреждений приводит к изменению физико-механических свойств кристаллов алмаза, в частности к постепенному снижению (по мере выработки ресурса работы инструмента) прочности алмаза. Поэтому значения температуры, полученные на различных этапах износа алмаза, невозможно экстраполировать

до рабочей зоны, поскольку на осциллограммах не наблюдается непрерывного возрастания температуры по мере приближения рабочей зоны (по мере износа кристалла) к спаю термодпары.

С учетом изложенного разработан экспериментальный способ определения контактной температуры при использовании инструментов из сверхтвердых материалов. Способ позволяет, в частности, определять температуру в зоне правки абразивных кругов, осуществляемой с охлаждением карандашами из природных, моно- и поликристаллических синтетических кристаллов алмаза.

Сущность разработанного способа заключается в том, что правку кругов выполняют последовательно однокристалльными инструментами, оснащенными кристаллами, имеющими одинаковые физико-механические свойства, форму и постоянные размеры поперечного сечения, но различающимися значениями длины (например, $L=2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0$ мм). При этом однокристалльные карандаши изготавливают по единому технологическому процессу, причем форма кристаллов, используемых для изготовления данной партии инструментов, должна быть постоянной (например, цилиндрической или в виде правильной призмы). Для каждого инструмента, оснащенного кристаллом определенной длины, фиксируют температуру при помощи искусственной термодпары, которая устанавливается на торцевой поверхности зерна.

Измерения температуры проводят на начальном этапе износа карандаша, соответствующем периоду приработки инструмента, когда еще в кристалле не накопились повреждения, обуславливающие снижение прочностных характеристик алмаза. При этом измерения проводят только тогда, когда сформировалась полная рабочая поверхность, т.е. когда кристалл начал работать всей площадью поперечного сечения. Это обеспечивается (при незначительных величинах износа алмаза) путем установки карандаша под небольшим углом относительно горизонтальной плоскости (в пределах $4...5^\circ$).

Для повышения точности следует измерения температуры для различных по длине кристаллов проводить при одинаковых величинах их износа. Испытывая однокристалльные инструменты, оснащенные кристаллами различной длины ($L_1 \neq L_2 \neq \dots \neq L_n$), экспериментально устанавливают изменения температуры в зависимости от расстояния между рабочей поверхностью кристалла и горячим спаем термодпары. Полученные таким образом значения температуры, зависящие от длины кристаллов, подвергают математической обработке и получают функцию, описывающую изменение температуры в зависимости от длины кристалла. В последующем полученную экспериментальную зависимость аппроксимируют функцией, которую затем экстраполируют до зоны резания ($L=0$), что позволяет определить контактную температуру при правке абразивных кругов алмазными карандашами.

На рисунке изображено устройство (алмазный карандаш), которое позволяет осуществить предлагаемый способ определения контактной температуры при правке абразивных кругов.

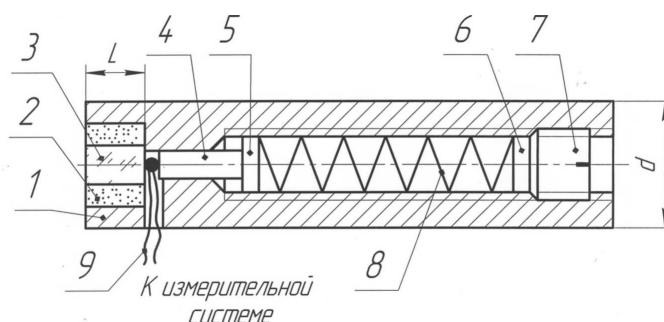


Рисунок. Алмазный карандаш с термодпарой

Оно состоит из корпуса 1, в котором при помощи связки 2 закреплен кристалл алмаза 3. Устройство также включает в себя диэлектрический штырек 4, шайбы 5 и 6, винт 7, пружину 8, а также термодпару 9, которая подключается к измерительной системе (она не показана).

Термодпара 9 вставляется в перпендикулярное к оси карандаша отверстие и прижимается к кристаллу 3 при помощи пружины 8 (через диэлектрический штырек 4). Отверстие для термодпары 9 расположено от рабочей поверхности инструмента на расстоянии, равном длине кристалла, которым оснащен данный экспериментальный карандаш. Усилие прижима термодпары 9 к кристаллу 3 в экспериментах, проводимых с использованием различных по длине кристаллов 3, поддерживается постоянным. Постоянство усилия обеспечивается при помощи винта 7 путем его перемещения вдоль оси карандаша. На торце диэлектрического штырька 4, обращенном к термодпаре 9, выполнено по оси небольшое углубление для размещения рабочего спаю термодпары 9 (необходимость формирования углубления на торце штырька 4 зависит от конкретного вида рабочего спаю термодпары). Это обеспечивает центрирование рабочего спаю относительно кристалла алмаза и исключает возможный контакт термодпары 9 с корпусом карандаша 1. Для обеспечения более равномерного сжатия пружины 8 на ее торцах устанавливаются шайбы 5 и 6.

С использованием предлагаемого способа были проведены экспериментальные исследования по определению контактной температуры при использовании инструментов из сверхтвердых материалов при правке абразивных кругов однокристалльными карандашами, оснащенными синтетическими поликристаллическими алмазами. Правку абразивных кругов 600x63x305 24A50ПСТ25К6 производили на круглошлифовальном станке мод. ЗБ151 при обильном охлаждении СОЖ на следующих режимах: $S_{\text{прод.}}=0,5$ м/мин, $S_{\text{поп.}}=0,025$ мм/ход стола.

Возникающую в процессе правки абразивных кругов температуру фиксировали при помощи измерительной системы, включающей в себя микропроцессорный измеритель ТРМ101, блок питания БП30, адаптер интерфейса

АС4 и компьютер, а величину износа однокристалльных карандашей, оснащенных кристаллами, имеющими различную длину, определяли при помощи специального приспособления с погрешностью $\pm 0,01$ мм (для этой цели можно использовать также инструментальный микроскоп). В эксперименте использовали термопару хромель–алюмель (диаметр термоэлектродов 0,3 мм) и поликристаллические синтетические кристаллы алмаза марки CVD-CDY, имеющие форму правильной призмы (сторона квадратного сечения 1,2 мм), но различную длину ($L=2,0$; 3,0; 4,0 и 5,0 мм). Для всех испытанных карандашей линейный износ кристаллов был одинаков и составил 0,3 мм.

После математической обработки результатов эксперимента получена экспоненциальная функция, описывающая изменение контактной температуры в зависимости от длины кристалла:

$$t = ae^{-bL},$$

где a и b – постоянные коэффициенты, зависящие от условий правки абразивных кругов ($a=802,4$; $b=0,49$);

L – длина кристалла, мм.

Полученную функцию в дальнейшем использовали для определения (путем экстраполяции) контактной температуры в зоне правки абразивного круга: при выбранных условиях эксперимента контактная температура составила приблизительно 800 °С.

Таким образом, предлагаемый способ позволяет определить величину контактной температуры при правке абразивных кругов алмазными карандашами, оснащенными диэлектрическими инструментальными материалами. Разработанный способ позволяет оценить значение температуры в зоне резания с учетом изменения теплофизических свойств алмаза, зависящих от температуры. Кроме того, меняя режим правки абразивных кругов (характеристику круга, скорость продольной подачи инструмента, значения поперечной подачи круга и др.), можно, используя предлагаемый способ, определить влияние указанных параметров на контактную температуру при правке абразивных кругов.

Способ может быть использован не только при правке абразивных кругов, но и при обработке природных камней и эксплуатации буровых алмазных коронок.

Определение контактной температуры в зоне резания позволит в дальнейшем разработать пути ее снижения, а значит, и значений термических напряжений в кристаллах, многократные действия которых приводят к разрушению алмаза и снижению ресурса работы инструментов. Осуществление предлагаемого способа будет способствовать разработке методов повышения срока службы и конкурентоспособности инструментов из сверхтвердых материалов.

Библиография

1. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. М.: Машиностроение, 1990. 288 с.
2. Яхутлов М.М., Лигидов М.Х., Батыров У.Д., Карданова М.Р., Деунезев З.Н. Исследование тепловой нагрузки на алмазные шлифовальные круги на полимерной матрице // Известия КБГУ. Т. III, № 6. 2013. С. 50–53.
3. Силин С.С., Рыкунов Н.С. Расчет температуры и баланса теплоты при шлифовании единичным зерном // Физика и химия обработки материалов. 1975. № 1. С. 22–28.
4. Химач О.В., Ковыженко Г.И., Колмогоров П.В. Контактная температура при микрорезании твердого сплава ВК8 // Сверхтвердые материалы. 1981. № 2. С. 59–61.
5. Тхагапсоев Х.Г., Шхануков М.Х., Хапачев Б.С., Абрегов М.Х. Определение контактной температуры при правке абразивных кругов алмазным инструментом // Сверхтвердые материалы. 1983. № 4. С. 44–48.
6. Яхутлов М.М., Карамурзов Б.С., Батыров У.Д., Беров З.Ж., Карданова М.Р. Тепловой режим и напряженно-деформированное состояние системы зерно–матрица алмазного инструмента // Сверхтвердые материалы. 2011. № 5. С. 88–100.
7. Малышев В.И., Янюшкин Ю.М. Контактные температуры при алмазной правке шлифовальных кругов // Сверхтвердые материалы. 1986. № 5. С. 48–54.
8. Александров В.А., Мечник В.А., Верхоярный А.В. Изучение нестационарного температурного поля алмазного круга при резании с охлаждением // Сверхтвердые материалы. 1989. № 1. С. 40–45.
9. Патент на изобретение РФ №2248537, G01K7/04, G 01N3/58. Способ определения контактной температуры и характера ее распределения в режущих инструментах / Хапачев Б.С. – Опубл. 20.03.2005.
10. Хапачев Б.С. К определению температуры при обработке природного камня // Наука, техника и технология XXI века (НТТ-2007): материалы III Международной научно-технической конференции. Т. I. Нальчик: КБГУ, 2007. С. 82–85.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ДЕЙСТВИИ СИЛ РЕЗАНИЯ

*Яхутлов М.М., Батыров У.Д., Тлибеков А.Х., Карданова М.Р., Гутов А.А., Деунезhev З.Н.

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова

*martin_yah@mail.ru

В системе 3D-моделирования SolidWorks изучено напряженно-деформированное состояние системы зерно – твердосплавная матрица алмазного инструмента под действием сил резания. Показано, что наиболее напряженной частью матрицы является контактный с алмазом (переходный) слой. Проведен анализ напряженно-деформированного состояния в этой области в зависимости от свойств матрицы и переходного слоя. Получены закономерности изменения напряжений в зависимости от направления сил резания, степени погружения зерна в матрицу и угла наклона зерна.

Ключевые слова: алмаз, твердосплавная матрица, напряженно-деформированное состояние, 3D-моделирование.

MODELING OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE DIAMOND TOOL UNDER THE ACTION OF CUTTING FORCES

Yakhutlov M.M., Batyrov U.D., Tlibekov A.KH., Kardanova M.R., Gutov A.A., Deunezhev Z.N.

Kabardino-Balkarian State University

In the 3D-modeling SolidWorks, the stress-strain state of the grain-hard alloy matrix of diamond tools under the action of cutting forces studied. It is shown that the most intense part of the matrix is the (transitional) layer, which contact with the diamond. The analysis of stress-strain state in this area depending on the properties of the matrix and transition layer was held. The regularities of changes of stresses depending on the direction of cutting force, the degree of immersion of the grains in the matrix and the angle of the grain was obtained.

Keywords: diamond, hard alloy matrix, stress-strain state, 3D-modeling.

Исследования напряженно-деформированного состояния режущей части алмазного инструмента в процессе эксплуатации проводятся с целью повышения его работоспособности. В зависимости от задачи исследования возможно рассмотрение напряженно-деформированного состояния на двух уровнях. Первый уровень – исследование алмазоносной части в целом или ее части с целью решения задач обеспечения прочности и стойкости. При этом алмазоносная часть, являющаяся композиционным материалом, представляется, как правило, однородным телом с приведенными физическими свойствами, поскольку изучаемая область во много раз превышает объемы, где ощутимо различие компонентов структуры.

Второй уровень рассмотрения напряженно-деформированного состояния режущей части алмазного инструмента – это уровень зерно–матрица. Процессы, происходящие на этом уровне, определяют, в основном, прочность и надежность алмазоудержания, которые в значительной степени определяются природой контактного слоя между алмазом и матрицей. Сложность экспериментальных исследований из-за малых размеров объекта определяет численное моделирование как наиболее целесообразный метод изучения напряженно-деформированного состояния этой системы [1]. Данная статья посвящена 3D-моделированию напряженно-деформированного состояния системы зерно–твердосплавная матрица алмазного инструмента при действии усилия резания.

Так же, как и в работе [2], где решается аналогичная задача с использованием двухмерной модели, в качестве расчетной схемы принято единичное зерно формы эллипсоида вращения, помещенное в матрицу (рис. 1), так как поля напряжений около зерен перекрываются незначительно. Между алмазом и матрицей выделяется переходный слой для моделирования различных покрытий на зерно, широко используемых для повышения работоспособности инструмента [3]. Расчетная схема задается следующими параметрами: a, b – полуоси эллипсоида; δ – толщина переходного слоя; h – величина выступания алмаза из матрицы, α – угол наклона зерна в матрице, β – угол наклона составляющих сил резания, приложенных к части свободного контура зерна, с обрабатываемым материалом. Размеры матрицы призматической формы выбираются из условия, чтобы напряжения, возникающие на его гранях, уменьшались, по сравнению с напряжением на границе зерно–матрица не менее, чем в 10 раз.

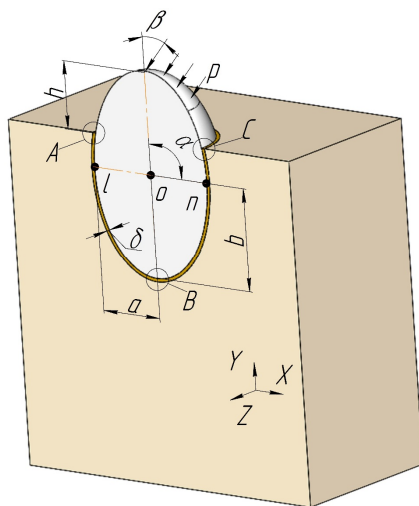


Рис. 1. Расчетная схема

В качестве базовых исходных данных при исследованиях были приняты параметры системы (табл. 1 и 2), характерные для условий работы камнеобрабатывающих инструментов на твердосплавной матрице. В частности, равнодействующая сил резания P и угол β определялись по данным экспериментальных исследований [4] осевой и тангенциальной составляющих усилий при резании единичным алмазным зерном различных горных пород (мрамор, кварцевый альбитофир, гранит и др.). Свойства матрицы и переходного слоя в общем случае приняты одинаковыми, соответствующими свойствам серийной матрицы М50, и рассчитывались исходя из свойств компонентов и их объемных долей по методике определения физических свойств композиционных материалов [5].

Таблица 1

Параметры модели

Размеры, мм				Угол наклона зерна	Силовая нагрузка	
a	b	h	δ	α , град	P , Н	β , град
1,0	1,5	1,0	0,05	90	70	35

Таблица 2

Свойства элементов конструкции [6]

Материал	Плотность, $\rho \times 10^{-3}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Модуль упругости, E , ГПа	Коефф. Пуассона, ν
Алмаз	3,52	900	0,072
Матрица	11,5	250	0,30

Расчеты проводились в модуле Cosmos/Works системы твердотельного параметрического моделирования механических конструкций SolidWorks. На рис. 2 представлены изолинии интенсивности напряжений σ_i на поверхности конструкции (а) и в плоскости XOY действия сил резания. С точки зрения влияния на прочность алмазодержания, интерес представляют напряжения в приконтактном слое матрицы. Наблюдается увеличение σ_i по мере приближения к зонам концентрации напряжений – линии сращения свободной и заземленной частей зерна.

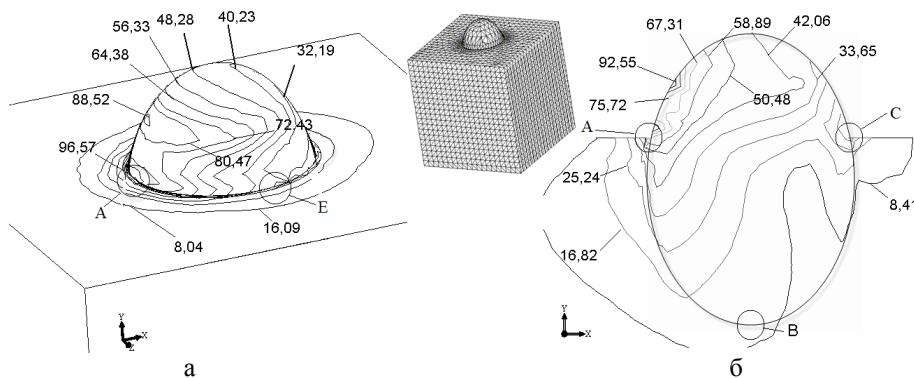


Рис. 2. Изолинии интенсивности напряжений (МПа) в системе зерно-матрица:
а – на поверхности конструкции; б – в плоскости XOY равнодействующей сил резания

На рис. 3 представлены закономерности изменения напряжений в плоскости XOY в переходном слое, а на рис. 4 – в сечении по малой оси зерна. Как видно из рисунков, левая относительно оси симметрии исследуемой системы часть является наиболее напряженной. В этой области компоненты напряжений имеют преимущественно отрицательный знак, растягивающие напряжения характерны для другой части системы. При этом отмечена общая тенденция возрастания напряжений по мере приближения к границе зерно–матрица, а максимальная интенсивность напряжений приходится на приконтактную область со стороны алмаза.

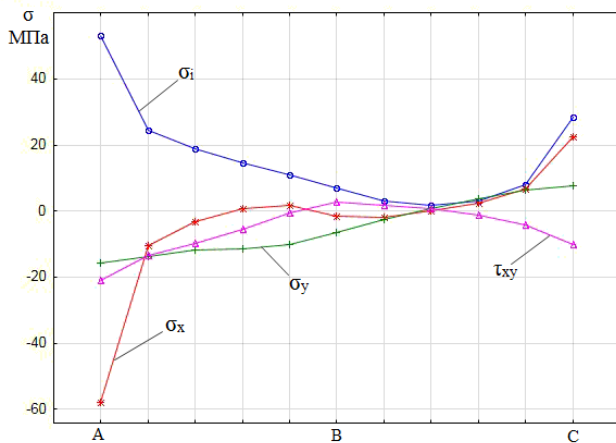


Рис. 3. Распределение напряжений в переходном слое (XOY)

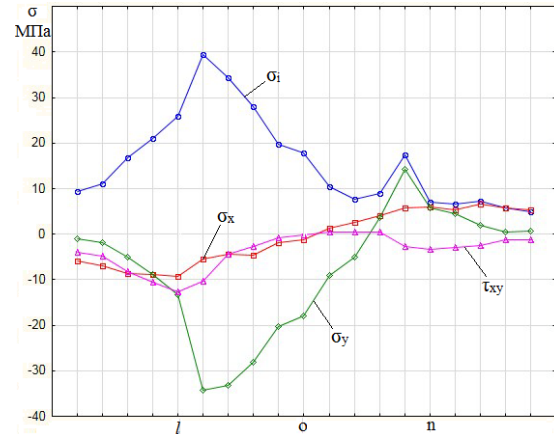


Рис. 4. Распределение напряжений по малой оси зерна (XOY)

Наблюдается увеличение напряжений по абсолютной величине по мере приближения к линии сопряжения свободной и заземленной частей зерна, являющейся зоной концентрации напряжений. Картина распределения интенсивности напряжений и некоторых компонентов напряжений в этой зоне (AECDA) показана на рис 5. В соответствии с рассматриваемой расчетной схемой, наибольшая интенсивность напряжений имеет место в плоскости действия сил резания и увеличивается по мере приближения к зонам A и C. Наблюдаемые закономерности изменения компонентов напряжений также определяются принятой расчетной схемой и являются косвенным подтверждением правильности решения задачи.

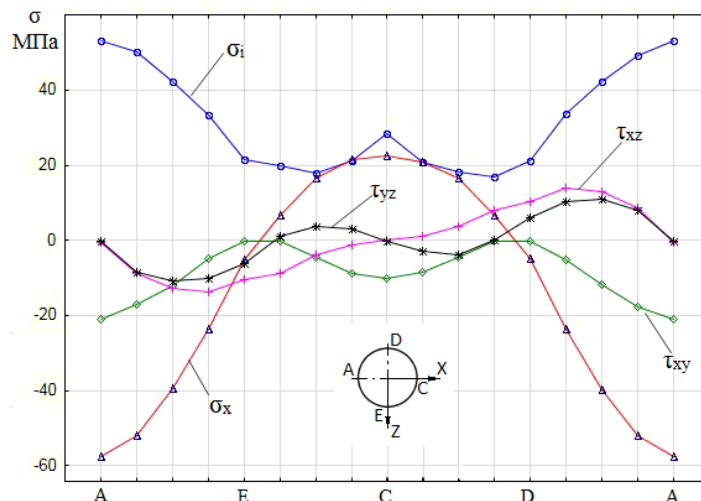


Рис. 5. Распределение напряжений в переходном слое, прилегающем к зоне сопряжения свободной и заземленной частей зерна

На рис. 6 представлена зависимость интенсивности напряжений в переходном слое в плоскости XOY от направления сил резания. Силы резания в реальных условиях процесса обработки определяются обрабатываемым материалом, режимом и условиями резания или ориентацией зерна в матрице. Как видно, при значениях угла β , равных 0° и 90° , имеет место симметричная картина интенсивности напряжений. В остальных случаях наиболее напряженным является участок AB контактной области. При этом, по мере увеличения β значение σ_i в зоне A возрастает.

Результаты моделирования интенсивности напряжений в зонах A и C в зависимости от угла наклона (при неизменном вылете зерна) и от высоты выступления зерна показаны на рис. 7. На основе этих данных могут быть развиты известные представления о критической заделке зерна в матрице [1, 7]. Выявленные закономерности могут быть также использованы при оптимизации уровня выступления зерна над матрицей и при разработке методов повышения эффективности обработки на основе использования инструментов с ориентированными зернами [8].

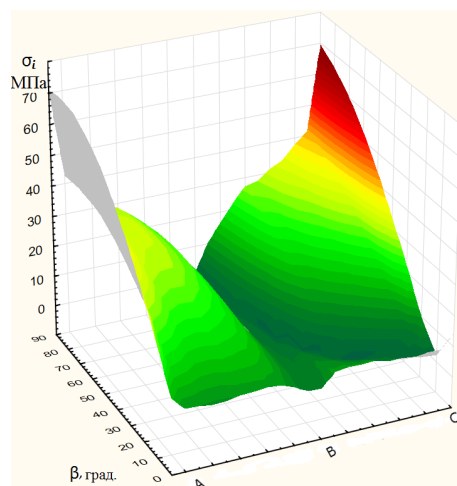


Рис. 6. Зависимость интенсивности напряжений в переходном слое от направления сил резания (ХОУ)

Расчетный анализ влияния механических свойств системы на напряженно-деформированное состояние показал, что система наиболее чувствительна к изменению модуля упругости матрицы и переходного слоя. При этом свойства переходного слоя для рассматриваемого класса алмазных инструментов определялись с учетом данных исследований межфазной границы «алмаз–матрица» при использовании зерен без покрытия и с титано-никелевым покрытием [9–11]. Изменения коэффициента Пуассона несущественно меняют картину напряженно-деформированного состояния системы. Увеличение модуля упругости приводит к росту напряжений в контактной области, причем эта закономерность более выражена по мере приближения к указанным зонам концентрации напряжений.

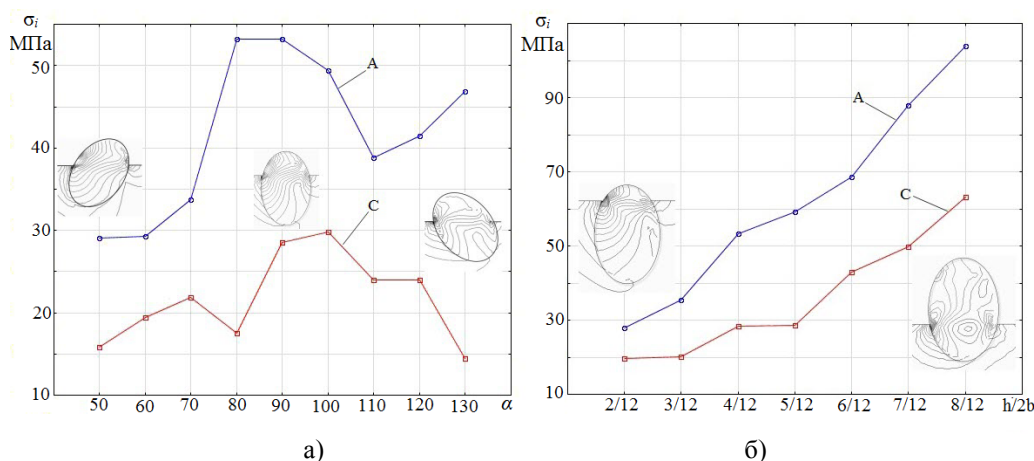


Рис. 7. Интенсивность напряжений в зонах А и С в зависимости от угла наклона (а) и высоты выступания зерна (б)

В табл. 3 приведены результаты расчетов интенсивности напряжений в зонах А и С при различных значениях модуля упругости матрицы E_m и переходного слоя E_{nc} . В верхней части таблицы приведены результаты, полученные для случая, когда свойства переходного слоя и матрицы одинаковы, а в нижней – когда $E_m=250$ ГПа и изменялись значения E_{nc} .

Таблица 3

Зависимость напряжений в зонах А и С от модуля упругости матрицы E_m и переходного слоя E_{nc}

Зона	Интенсивность напряжений σ_i , МПа		
	$E_{nc}=E_m$, ГПа		
	150	250	350
А	46,03	53,24	58,86
С	24,02	28,49	31,92
	E_{nc} , ГПа ($E_m=250$ ГПа)		
	100	250	400
А	43,87	53,24	54,76
С	23,30	28,49	30,83

Расчеты для случая отсутствия покрытия ($E_{nc}=E_m$) показали, что перемещения и, соответственно, жесткость системы зависят от модуля упругости матрицы нелинейно. В табл. 4 приведены результаты расчетов перемещений U и V центра зерна соответственно по осям x и y .

Таблица 4

Зависимость перемещений центра зерна от модуля упругости матрицы E_m

$E_m=E_{п.с}$	50	150	250	350	450
U (мкм)	–0,157	–0,052	–0,033	–0,023	–0,018
V (мкм)	–0,193	–0,072	–0,049	–0,038	–0,032

Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации конструкций, технологий изготовления и режимов эксплуатации алмазно-абразивных инструментов, в частности при разработке связей и для направленного формирования контактного с зерном слоя матрицы в процессе изготовления инструмента.

Библиография

1. Яхутлов М.М., Карамурзов Б.С., Батыров У.Д., Карданова М.Р. Особенности математического моделирования алмазных инструментов // Известия КБГУ. 2012. Т. II, № 4. С. 32–35.
2. Яхутлов М.М., Карамурзов Б.С., Батыров У.Д., Ошхунов М.М., Карданова М.Р. Напряженно-деформированное состояние системы зерно–матрица алмазного инструмента при силовых возмущениях // Сверхтвердые материалы. 2009. № 6. С. 81–88.
3. Яхутлов М.М., Карамурзов Б.С., Беров З.Ж., Батыров У.Д., Нартыжев Р.М. Направленное формирование межфазной границы алмаз–матрица с использованием нанопокровов // Известия КБГУ. 2011. Т. I, № 4. С. 23–25.
4. Исаев М.И., Пономарев П.В. Основы прогрессивной технологии алмазного бурения геологоразведочных скважин. М.: Недра, 1975. 288 с.
5. Композиционные материалы: справочник / под ред. Д.И. Карпинос. Киев: Наук. думка, 1985. 592 с.
6. Физические свойства алмазов: справочник / под ред. Н.В. Новикова. Киев: Наук. думка, 1987. 190 с.
7. Яхутлов М.М., Ошхунов М.М. О критической заделке алмазного зерна в матрицу инструмента // Вестник КБГУ. Серия «Технические науки». Вып. 5. Нальчик, 2000. С. 57–59.
8. Курдюков В.И. Научные основы проектирования абразивных инструментов. Курган: Курганский гос. ун-т, 2005. 159 с.
9. Валухов Д.П., Кривцов А.И., Яхутлов М.М. Исследование межфазной границы в системе «алмаз–матрица» алмазного инструмента // Сб. научных трудов Северокавказского ГТУ. Серия «Физико-химическая». Вып. 5. Ставрополь, 2001. С. 88–94.
10. Валухов Д.П., Яхутлов М.М. Оже-электронное исследование межфазной границы «алмаз–матрица» // Сб. научных трудов Северокавказского ГТУ. Серия «Физико-химическая». Вып. 6. Ставрополь, 2002. С. 40–42.
11. Валухов Д.П., Зленко В.Я., Зорькин А.Э., Крикун С.А., Яхутлов М.М. Химический состав межфазной границы «алмаз–матрица» по данным электронной спектроскопии // Материалы 4 международной научно-технич. конференции «ОТТОМ-4». Харьков, 2003. С. 237–240.

НЕЛИНЕЙНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ СТРУКТУРЫ АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА

Карданова М.Р.

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова

mrk1911@mail.ru

Рассматривается нелинейная математическая модель нестационарного температурного поля структуры алмазного инструмента в виде системы «зерно–матрица». Представлены результаты моделирования температур в инструменте на полимерной матрице.

Ключевые слова: алмаз, полимерная матрица, нелинейная математическая модель, теплопроводность, нестационарное температурное поле.

THE NONLINEAR MATHEMATICAL MODEL OF UNSTEADY TEMPERATURE FIELDS OF DIAMOND TOOLS

Kardanova M.R.

Kabardino-Balkarian State University

We consider the nonlinear mathematical model of unsteady temperature field of the structure of the diamond tool in the form of «grain–matrix». Simulation results of temperatures at the tool in the polymer matrix are presented.

Keywords: diamond, polymer matrix, nonlinear mathematical model, heat conduction, unsteady-state temperature field.

Рабочий слой алмазного инструмента представляет собой композиционный материал, в котором в органической матрице, являющейся непрерывной фазой, распределены зёрна алмазов. Исследования и опыт эксплуатации алмазного инструмента на полимерной матрице показывают, что их работоспособность в значительной степени определяется прочностью удержания алмазного зерна в матрице в процессе эксплуатации.

При работе инструмента на полимерной матрице в зоне резания развиваются достаточно высокие локальные температуры, и потоки тепла через алмазное зерно воздействуют на слой связующего, прилегающего к поверхности кристалла. В результате происходит деструкция связующего, прочность удержания алмазного зерна в матрице резко падает, и зерно, не выработав свой ресурс, выпадает из инструмента [1].

Процесс резания алмазным зерном и, соответственно, тепловая нагрузка на него носят прерывистый характер. Поэтому представляет интерес изучение нестационарного температурного поля в системе. Наиболее целесообразным методом исследований температур в структуре алмазного инструмента в виде системы «зерно–матрица» является численное моделирование [2, 3]. Это связано, прежде всего, со сложностью экспериментальных исследований из-за малых размеров зёрен и неоднородности свойств матрицы как композиционного материала.

Для проведения такого анализа в настоящее время используются мощные и универсальные программные средства, основанные на применении метода конечных элементов. Основной недостаток универсальных программных средств заключается именно в их универсальности, связанной с подготовкой огромных массивов исходных данных. Кроме того, алмаз отличается существенной зависимостью теплофизических свойств от температуры [3] (табл. 1). Поэтому является целесообразной разработка математической модели и программно-алгоритмического обеспечения, ориентированного на решение данной задачи.

Таблица

Зависимость теплофизических свойств алмаза от температуры

Коэффициент теплопроводности, λ , Вт/(м·град)								
t, °C	0	100	300	500	800	1000	1500	
λ	146,5	96,2	50,2	33,5	29,3	25,1	20,9	
Удельная теплоёмкость, c , кДж/(кг·град)								
t, °C	20	75	175	275	425	525	725	925
c	0,502	0,706	1,003	1,237	1,493	1,617	1,794	1,884

В настоящей работе в качестве расчётной схемы принято единичное зерно эллипсоидной формы, помещенное в матрицу (рис. 1), так как исследования [4] показали, что даже в инструментах с высокой концентрацией алмазов, поля температур соседних зёрен перекрываются незначительно. Что касается выбора формы зерна, эллипсоид вращения является наиболее приближенной к реальной форме зерна [5]. Кроме того, изменением размеров полуосей эллипсоида можно моделировать различные его пропорции, в том числе сферическую форму зерна (рис. 2).

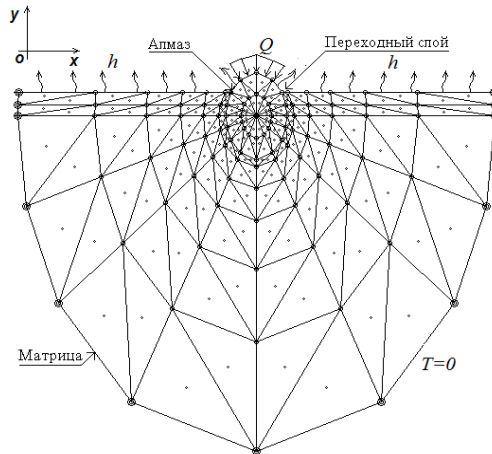


Рис. 1. Расчетная схема

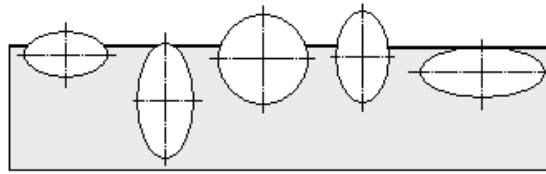


Рис. 2. Моделируемые формы зерна и его погружение в матрицу

В расчётной схеме для возможности моделирования различных покрытий на зёрна, широко применяемых в этих инструментах для улучшения алмазоудержания [6, 7], выделен переходный слой между алмазом и матрицей.

Таким образом, расчётная схема представляется в виде плоской пластины, состоящей из трёх фрагментов с различными механическими и теплофизическими характеристиками: алмазного зерна, переходного слоя и матрицы (рис. 1).

Рассматриваемая конструкция находится под действием теплового возмущения от процесса резания – удельного теплового потока Q , приложенного к свободному контуру зерна, непосредственно контактирующему с обрабатываемым материалом. Конвективный теплоотвод в окружающую среду учитывается коэффициентом теплоотдачи h на свободной от теплового потока части контура зерна и прямолинейном контуре матрицы (рис. 1).

Уравнение нестационарной теплопроводности в плоской изотропной среде в системе прямоугольных координат $\{x, y\}$ имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(T) \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda(T) \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial y} \right) - \rho \cdot c(T) \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial t} = 0,$$

где $T(x, y, t)$ – температура; $\lambda(T)$ – коэффициент теплопроводности; ρ – плотность; $c(T)$ – удельная теплоёмкость; t – время.

Это уравнение должно подчиняться четырём типам граничных условий на контуре рассматриваемой пластины.

1. На границе, где задан поток тепла Q (Q считается положительным, если тепло теряется телом):

$$\lambda(T) \left(\frac{\partial T(x, y, t)}{\partial x} l_x + \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial y} l_y \right) + Q = 0.$$

2. На границе, где происходит конвективный теплообмен с коэффициентом теплоотдачи h :

$$\lambda \left(\frac{\partial T(x, y, t)}{\partial x} l_x + \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial y} l_y \right) + h [T(x, y, t) - T_\infty] = 0,$$

где T_∞ – температура окружающей среды; $l_x = \sin \alpha$, $l_y = \cos \alpha$ – направляющие косинусы.

3. На границе, представляющей собой теплоизолированный участок:

$$\frac{\partial T(x, y, t)}{\partial x} l_x + \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial y} l_y = 0.$$

4. Если на некоторой части границы температура известна:

$$T(x, y, t) = T_s(s),$$

где S – координаты точек границы.

В узлах, расположенных на криволинейном контуре матрицы (рис. 1), всегда задается граничное условие:

$$T = 0.$$

Предполагается, что начальные условия при решении уравнения нестационарной теплопроводности имеют вид:

$$T(x, y, 0) = 0.$$

Также предполагается, что конвективный теплообмен, а также поток тепла на поверхностях пластинки отсутствуют, т.е. эти процессы могут реализовываться только на контуре пластинки.

Как видно из приведенных выше зависимостей, задача решается в нелинейной постановке, т.е. с учетом зависимости удельной теплоемкости и коэффициента теплопроводности элементов исследуемой системы от температуры.

Двухмерную задачу нестационарной теплопроводности решали с использованием метода конечных элементов [8, 9]. Для расчета полей температур в рассматриваемой конструкции разработаны программы на алгоритмическом языке Turbo-C. Проведено комплексное исследование и обоснование достоверности и точности получаемых результатов. В частности, проверена сходимость реализуемых итерационных процессов по определению теплофизических характеристик материала в зависимости от температуры и интегрированию уравнений теплопроводности по времени методом конечных разностей. Результаты расчетов показали, что число итераций, необходимых для достижения относительной погрешности $\varepsilon = 10^{-6}$, заложенной в алгоритмы, не превышает 10–12. Также проведено обоснование достоверности алгоритмов использованием свойств симметрии исследуемой системы и перекрестным сравнением программ решения задач стационарной и нестационарной теплопроводности.

Проведены численные эксперименты для инструмента на бакелитовом связующем. Соответственно были приняты размеры зерна: большая ось эллипса – 0,5 мм, малая – 0,4 мм. Значения плотности ρ (кг/м³), коэффициента теплопроводности λ (Вт/(м·град)) и удельной теплоемкости c (Дж/(кг·град)) при 20 °С алмаза (индекс *a*) и бакелита (индекс *b*) [10, 11]:

$$\rho_a = 3520; \quad \rho_b = 1300, \quad \lambda_a = 146,5, \quad \lambda_b = 0,18, \quad c_a = 502, \quad c_b = 1600.$$

Тепловая нагрузка на систему задавалась из условия соответствия температур в системе известным экспериментальным данным [1]: $Q = 3 \cdot 10^6$ Вт/(м²) и $h = 5 \cdot 10^3$ Вт/(м²·град).

На рис. 3 представлены результаты решения задачи стационарной теплопроводности – симметричное распределение температуры в переходном слое при различных коэффициентах теплопроводности материала матрицы λ_m . Отметим, что значение коэффициента теплопроводности $\lambda_m = 0,18$ соответствует базовому варианту – использованию бакелитового связующего. Увеличение теплопроводности матрицы приводит к существенному уменьшению установившихся температур в системе. Отмечено, что при всех значениях теплопроводности матрицы λ_m алмазное зерно прогревается практически равномерно. При одинаковой тепловой нагрузке базовому варианту соответствует средняя температура в зерне 300 °С, $\lambda_m = 1,0$ – 210°, $\lambda_m = 2,0$ – 130°. Расчеты показали, что имеется небольшой градиент температур в зерне лишь в сечении вдоль вертикальной оси.

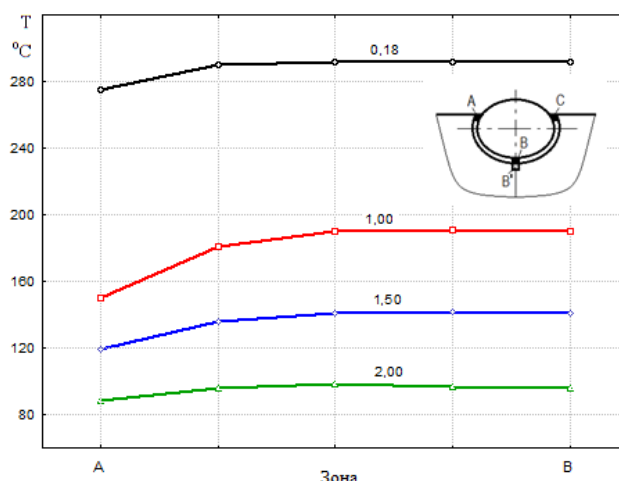


Рис. 3. Распределение установившейся температуры в приконтактном с зерном слое при различных коэффициентах теплопроводности матрицы, λ , Вт/(м·град)

Как следует из рис. 3, температура в переходном слое (зона А–В–С) при заданном значении λ_m также меняется незначительно – имеет место её незначительное уменьшение при приближении к охлаждаемой поверхности.

Численные эксперименты показали, что температуры в системе, рассчитанные при постоянных значениях теплофизических характеристик алмаза (при 20 °С), отличаются от результатов, полученных по разработанной нелинейной модели на 20–25 %.

Переходные тепловые процессы в зоне В' (рис. 3) при различных значениях теплопроводности матрицы λ_m , полученные решением задачи в нестационарной постановке, представлены на рис. 4.

Как видно из рис. 4, теплопроводность матрицы практически не влияет на время переходного теплового процесса в рассматриваемой системе. Теплопроводность матрицы существенно влияет на установившуюся температу-

ру. Для указанной зоны В' максимальная установившаяся температура, равная примерно 290 °С, имеет место при использовании бакелитового связующего ($\lambda_m = 0,18$). С увеличением λ_m стационарная температура уменьшается.

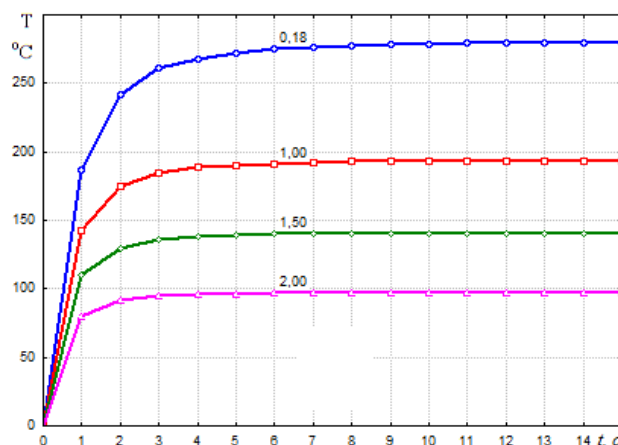


Рис. 4. Нестационарный тепловой процесс в системе при различных коэффициентах теплопроводности матрицы, λ , Вт/(м·град)

Разработанная математическая модель может быть использована для исследования стационарного и нестационарного полей температур в рассматриваемой структуре при решении задач оптимизации конструкции и условий эксплуатации алмазного инструмента.

Библиография

1. Инструменты из сверхтвёрдых материалов / под ред. Н.В. Новикова. М.: Машиностроение, 2005. 555 с.
2. Яхутлов М.М. Исследование теплового режима в системе зерно–матрица алмазного инструмента // Вестник машиностроения. 2001. № 8. С. 48–52.
3. Kardanova M.R., Ligidov M.K., Shkhanukov-Lafishev M.K., Yakhutlov M.M. Modelling of the temperature field in a diamond containing composite material with organic matrix // International Polymer Science and Technology. 2011. T. 38, № 7. P. 25–30.
4. Yang Dong Y., Seired Ali A. Model for predicting residual stresses in metal cutting // Proc. Jap. Int. Tribol. Conf. Nagoya. 1990. V. I. P. 439–444.
5. Лавриненко В.И., Шепелев А.А., Петасюк Г.А. Модели формы зерен СТМ // Сверхтвердые материалы. 1994. № 5–6. С. 18–21.
6. Беров З.Ж., Карамурзов Б.С., Тлибеков А.Х., Яхутлов М.М. Выбор материала покрытия на алмазные зерна и оптимизация его толщины // Сверхтвердые материалы. 1998. № 5. С. 55–61.
7. Яхутлов М.М., Карамурзов Б.С., Беров З.Ж., Батыров У.Д., Нартыжев Р.М. Направленное формирование межфазной границы алмаз–матрица с использованием нанопокровтий // Известия КБГУ. 2011. Т. 1, № 4. С. 23–25.
8. Михлин С.Г. Вариационные методы в математической физике. М.: Наука, 1970. 512 с.
9. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике: пер. с англ. М.: Мир, 1975. 544 с.
10. Физические свойства алмазов: справочник / под ред. Н.В. Новикова. Киев: Наук. думка, 1987. 190 с.
11. Привалко В.П., Новиков В.В., Яновский Ю.Г. Основы теплофизики и реофизики полимерных материалов / отв. ред. О.В. Романкевич. Киев: Наук. думка, 1991. 232 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХВАТА ДВИЖУЩЕЙСЯ ПО БАЛЛИСТИЧЕСКОЙ ТРАЕКТОРИИ ЦЕЛИ

*Ошхунов М.М., Кумыков В.К., Хатукаев Х.М., Нахушева Ф.М., Джанкулаева М.А.

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова

*muaed@inbox.ru

В данной работе предлагается математическая модель движения и перехвата движущейся по баллистической траектории цели.

Ключевые слова: моделирование, пространственное движение, учет сопротивления пропорционально скорости.

SIMULATION OF MOVING TARGET INTERCEPTION

Oshkhunov M.M., Kumykov V.K., Hatukaev H.M., Nakhusheva F.M., Dzhankulaeva M.A.

Kabardino-Balkarian State University

In this paper the mathematical model of motion and interception of two body in gravitational field is presented.

Keywords: modeling, spatial motion, keeping resistance.

Построение математической модели движения двух снарядов без учета сопротивления. Предположим, что точка (снаряд) выстреливается в гравитационном поле со скоростью V под углом к горизонту α (рис. 1). Без учета сопротивления траектория точки, очевидно, описывается уравнениями [1]

$$\begin{cases} x(t) = tV \cos \alpha, \\ y(t) = -gt^2/2 + tV \sin \alpha + h_0. \end{cases} \quad (1)$$

В момент времени t_0 навстречу выстреливается снаряд со скоростью V_1 под углом α_1 (рис. 1).

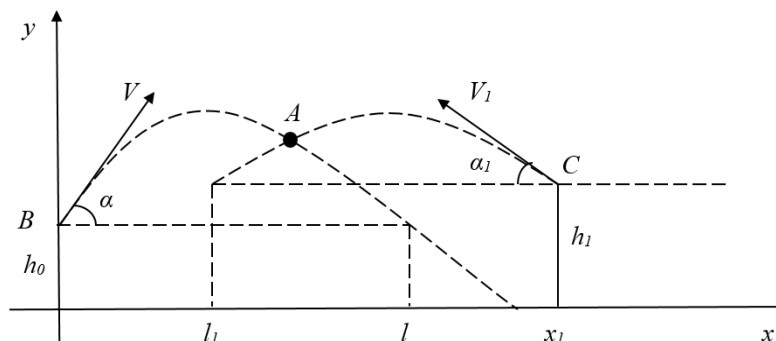


Рис. 1. Простая схема перехвата цели, движущейся по параболической траектории (точка А – пересечение траекторий)

Если пересечение происходит в точке А через время t после старта снаряда с точки С, то, используя равенство высот по оси Oy, получим:

$$\begin{aligned} y(t_0 + t) = -g(t_0 + t)^2/2 + (t_0 + t)V \sin \alpha + h_0 = -gt^2/2 + tV_1 \sin \alpha_1 + h_1; \\ -\frac{gt^2}{2} - gt_0 t + t_0 V \sin \alpha - tV_1 \sin \alpha_1 = h_1 - h_0, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\rightarrow t = \frac{h_1 - h_0 + gt_0^2/2 - t_0 V \sin \alpha}{V \sin \alpha - V_1 \sin \alpha_1 - gt_0}. \quad (3)$$

Полученное значение времени t – время полета второй ракеты, чтобы встретиться с первой в момент времени $t_0 + t$ на высоте $y(t_0 + t)$ (см. формулу 2).

Путь, пройденный первым снарядом по горизонтали до встречи со вторым, равен

$$x(t_0 + t) = (t_0 + t)V \cos \alpha. \quad (4)$$

Аналогично до сближения с первым второй снаряд пройдет путь

$$x(t) = V_1 \cos \alpha_1 t. \quad (4^*)$$

Пространственный случай, когда движения снарядов происходят необязательно в одной плоскости, показан на рис. 2.

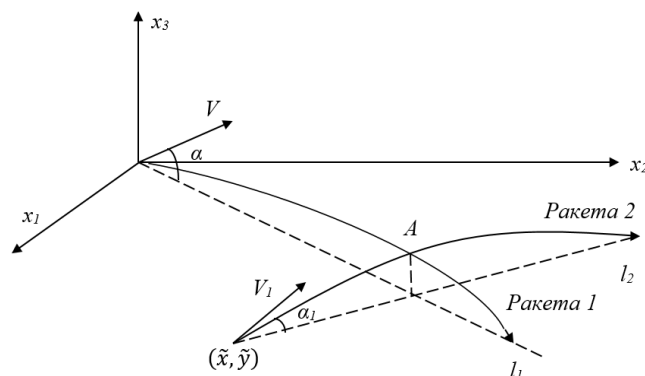


Рис. 2. Иллюстрация к пространственному движению двух снарядов; точка столкновения

Учет сопротивления, пропорционального скорости движения. В этом случае, предполагая, что движение происходит по закону [2, 3]

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -\alpha_1 \dot{x} \\ m\ddot{y} = -\alpha_2 \dot{y} - mg \end{cases} \quad (5)$$

где α_1, α_2 – коэффициенты сопротивления по направлениям x, y , получим:

- для первого снаряда:

$$x(t_0 + t) = \frac{V \cos \alpha}{\alpha_1} (1 - e^{-\alpha_1(t_0 + t)}), \quad (6)$$

$$y(t_0 + t) = h_0 + \frac{g + \alpha_2 V \sin \alpha}{\alpha_2^2} (1 - e^{-\alpha_2(t_0 + t)}) - \frac{g}{\alpha_2} (t_0 + t), \quad (7)$$

- для второго снаряда:

$$x^*(t) = \frac{V_1 \cos \alpha_1}{\alpha_1^2} (1 - e^{-\alpha_1^2 t}), \quad (8)$$

$$y^*(t) = h_1 + \frac{g + \alpha_2^2 V_1 \sin \alpha_1}{(\alpha_2^2)^2} (1 - e^{-\alpha_2^2 t}) - \frac{g}{\alpha_2^2} t. \quad (9)$$

Чтобы найти время пересечения двух баллистических траекторий, необходимо решить уравнение

$$y(t_0 + t) = y^*(t), \quad (10)$$

где α_1^2, α_2^2 – коэффициенты сопротивления второго снаряда. Здесь $y(t_0 + t), y^*(t)$ задаются формулами (7), (9).

Решение уравнения (9) определяет время столкновения t^* .

Пути по горизонтали, пройденные снарядами 1 и 2, определяются формулами (6), (8).

Для нахождения математического ожидания баллистических траекторий в случае, когда начальные условия являются случайными нормально распределенными функциями, учитывая линейность математических моделей, можно сделать следующее: математическое ожидание решения поставленных задач можно получить, если в начальных условиях дифференциальных уравнений использовать их математические ожидания. В случае, когда начальные условия в математической модели – случайные коррелированные функции, вопрос об определении дисперсии траектории сводится к решению последовательности четырех задач, аналогичных рассмотренным [4].

Выводы

1. Получено уравнение, решение которого позволяет определить момент перехвата движущейся цели.
2. Разработан алгоритм построения математической модели процесса перехвата движущейся цели.
3. Предложен алгоритм построения математических моделей процесса перехвата в случае, когда начальные условия являются случайными коррелированными функциями.

Библиография

1. Ошхунов М.М., Нагоев З.В. Математические модели деформируемых сред для интеллектуальных систем виртуального прототипирования. Нальчик: КБНЦ РАН, 2013. 196 с.
2. Ошхунов М.М., Нагоев З.В. Метод дискретно-динамических частиц в задачах механики деформируемого твердого тела // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2011. № 4. С. 155–169.
3. Oshkhunov M.M. Introduction to solid mechanics (Введение в механику деформируемого твердого тела). Нальчик: Полиграфсервис и Т, 2000. 40 с.
4. Темботова М.М. Разностные методы решения нелокальных краевых задач для модифицированного уравнения влагопереноса с детерминированными и случайными данными: дисс. ... канд. физ.-мат. наук. Нальчик, 1999.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ВОПЛОЩЕНИЯ ПРИНЦИПОВ РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЯ В КОНСТРУКЦИЯХ УЗЛОВ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

*Батыров У.Д., Атаев П.Л., Карданов Т.Х., Токов А.З.

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова

*ubatyrov@yandex.ru

В статье приводятся результаты исследований с целью решения задачи ресурсосбережения при измельчении пищевых продуктов. Разработаны пути снижения энергозатрат в процессе измельчения пищевых продуктов.

Ключевые слова: ресурсосбережение, перфорированная решетка, энергозатраты, угол резания, производительность, измельчение продуктов питания.

SOME ASPECTS OF IMPLEMENTATION OF THE PRINCIPLES IN THE DESIGN OF UNITS RESOURCE ECONOMY FOOD CHOPPER

Batyrov U.D., Ataev P.L., Kardanov T.H., Tokov A.Z.

Kabardino-Balkarian State University

The paper presents the results of research in order to solve the problem of resource economy, when grinding food. Developed ways to reduce energy consumption during grinding of food.

Keywords: resource economy, perforated grille, energy consumption, angle of cut, performance, grinding food.

Ресурсосбережение – это деятельность (организационная, экономическая, техническая, научная, практическая, информационная), методы, процессы, комплекс организационно-технических мер и мероприятий, сопровождающих все стадии жизненного цикла объектов и направленных на рациональное использование и экономное расходование ресурсов.

В настоящее время проблема ресурсосбережения для всех организаций требует срочного решения, так как наметился рост цен на металлы, электроэнергию, воду, сырье, практически на все расходные материалы. Следует в кратчайшие сроки изыскать возможности снижения удельных затрат любых ресурсов на единицу выпускаемой продукции, иначе производственные затраты могут превзойти доходы предприятий и свести на нет прибыль. Исключением не является производство измельчителей пищевых продуктов.

Например, волчок К7-ФВП-160-1, предназначенный для среднего и мелкого измельчения мясного сырья, имеет электродвигатель мощностью 32,2 кВт, а куттер Л5-ФКМ, предназначенный для окончательного тонкого измельчения мяса и приготовления фарша при производстве варено-копченых, полукопченых, сырокопченых, вареных, ливерных колбас, сосисок и сарделек имеет электродвигатель мощностью 30,6 кВт. Машина Б9-ФДМ-01, используемая для измельчения блоков замороженного мяса, имеет электродвигатель мощностью 55 кВт. Эти примеры свидетельствуют о чрезвычайно большой энергоёмкости процесса измельчения мяса и мясных продуктов. К примеру, установленная мощность электродвигателей на металлорежущих станках в среднем не превышает 8...10 кВт.

Следовательно, изыскание путей снижения энергозатрат на процессы измельчения пищевых продуктов является актуальным.

Одним из основных рабочих элементов измельчителей пищевых продуктов, которое оказывает существенное влияние на величину энергопотребления, является перфорированная решетка.

Энергозатраты на процесс измельчения пищевых продуктов, степень измельчения, качество измельченного продукта и производительность зависят от формы, размеров и количества рабочих отверстий, расположенных на перфорированной части решетки, углов заострения режущих лезвий лепестков крестообразного вращающегося ножа, формы режущих кромок (прямолинейная, криволинейная), исходного материала решетки и вращающегося ножа и других факторов.

Для решения задачи ресурсосбережения при измельчении пищевых продуктов была разработана комбинированная решетка, выполненная в виде двух дисков, режущего и несущего, имеющего сквозные соосно расположенные рабочие отверстия, где рабочие отверстия на режущем диске имеют форму усеченного конуса, и их размеры увеличиваются в направлении выхода измельченного продукта, а в несущем диске имеют цилиндрическую форму и остаются постоянными, равными диаметру основания усеченного конуса рабочего отверстия режущего диска, причём режущий диск изготавливают из износостойчивой стали, а несущий диск – из коррозионно-стойкой стали.

Конусная форма рабочего отверстия режущего диска позволяет уменьшить энергозатраты на резание пищевого продукта и на прохождение его через отверстия. Чем меньше угол заострения, тем легче будет осуществляться процесс резания. Кроме того, увеличение размеров сечения рабочего отверстия в направлении к выходу уменьшает энергозатраты на прохождение пищевого продукта через рабочие отверстия [1].

Также следует отметить, что, если переточка решёток измельчителей, используемых в промышленности, организована удовлетворительно, то в бытовых условиях их переточка практически отсутствует. Поэтому для сохра-

нения энергетического эффекта, качества измельчения пищевых продуктов и удобства эксплуатации (с одновременным сохранением режущих свойств решетки и исключения необходимости в переточках) предлагается использовать в конструкции принцип «сменности». Принцип «сменности» широко используется в технике, например, в конструкциях металлорежущих инструментов. Режущая часть инструментов выполнена в виде сменных многогранных неперетачиваемых пластин, изготовленных из высококачественных дефицитных материалов. Корпус (державка) изготавливается из менее дорогих и дефицитных материалов и используется практически неограниченное число раз, а сменные неперетачиваемые пластины по мере их затупления будут заменяться на новые. Другими словами, режущий диск по мере затупления режущих кромок будет отправляться не на переточку, а заменяться из комплекта сменных режущих дисков, прилагаемых к измельчителю. При этом толщина режущего диска не должна быть более 2...3 мм, а углы заострения в конусных рабочих отверстиях должны находиться в пределах $\beta=75\ldots85^\circ$, что установлено нами экспериментально.

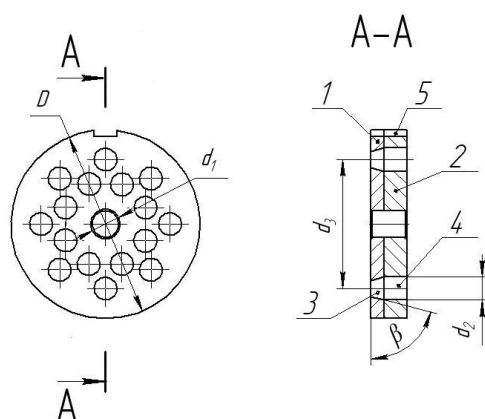


Рис. 1. Комбинированная решетка, выполненная в виде двух дисков:

1 – режущий диск, 2 – несущий диск, 3 – коническое отверстие режущего диска, 4 – цилиндрическое отверстие несущего диска, 5 – базировочная шпоночная канавка, β – угол заострения

Также предлагается изготавливать режущий сменный диск из износостойчивой стали марки ШХ15СГ, который, по данным Московского технологического института мясной и молочной промышленности, является лучшим материалом с точки зрения износостойкости и режущих свойств. Средняя продолжительность работы решетки из стали У8А – до переточки 1...2 дня (при двухсменной работе); из стали ХВГ – не более 4 рабочих дней; предельный износ наступает через 10...15 рабочих дней; износостойкость ШХ15 м ШХ15ГС в 3,5...4 раза превышает износостойкость У8 и У8А и в 2...2,5 раза – износостойкость стали ХВГ. Несущий диск предлагается изготавливать из коррозионностойких сталей (например, Х17, 40Х13, 12Х17), который рекомендуется использовать для деталей пищевого оборудования, контактирующего с пищевыми продуктами и подвергающегося санитарной обработке агрессивными моющими средствами [2].

Следует отметить, что форма рабочего отверстия на входе в форме круглого усеченного конуса благоприятствует процессу измельчения. Измельчаемый продукт прижимается к решетке силой P (рис. 2). Если продукт обладает упругостью, то он сжимается и продавливается через входное отверстие. В отверстии оказывает давление на стенки конуса силой N , которая перпендикулярно направлена к образующей конуса. Эта сила может быть разложена на N_1 и N_2 . Силы N_2 , действующие в радиальном направлении, уравниваются, а равнодействующая сил N_1 будет «втягивать» часть продукта, находящейся в отверстии, от входа к выходу, что создает благоприятные условия процессу измельчения и, как следствие, способствует уменьшению энергозатрат [3].

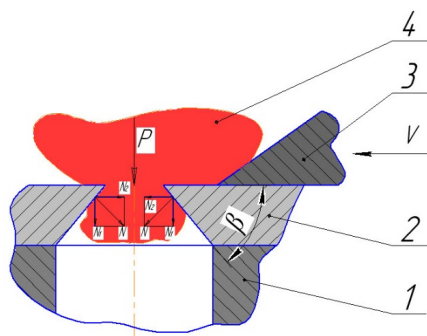


Рис. 2. Схема работы режущего механизма измельчителя пищевых продуктов:

1 – опорный диск; 2 – режущий диск; 3 – крестообразный нож; 4 – измельчаемый продукт

Были выполнены сравнительные испытания на энергоэффективность решеток с рабочими отверстиями, выполненными в форме круглых цилиндров, и комбинированной решетки, выполненной в виде двух дисков с рабо-

чими отверстиями, имеющими комбинированную конфигурацию. Предложенная сборная конструкция решетки измельчителя пищевых продуктов в процессе испытания показала свою энергоэффективность, уменьшив энергопотребление на 25...30 %. Вследствие уменьшения потребных усилий на резание и прохождение продукта через рабочие отверстия повышается производительность измельчителя, что также способствует повышению качества измельчения, т.к. мясо должно резаться, а не перетираться, чтобы не терять сок.

Кроме того, вследствие уменьшения потребных сил на резание продукта уменьшилось и тепловыделение, вызванное процессом измельчения, которое крайне негативно влияет на физико-химическое состояние измельченного продукта. В промышленных условиях для предотвращения перегрева фарша и нежелательных изменений водно-жиро-белковой фракции мяса в процессе измельчения, а также для снижения последующего бактериологического обсеменения фарш в процессе измельчения охлаждают с помощью снега или чешуйчатого льда.

Библиография

1. Батыров У.Д., Атаев П.Л., Карданов Т.Х., Токов А.З. Повышение эффективности и качества работы измельчителей пищевых продуктов // Качество. Инновации. Образование. 2015. № 2. С. 225–227.
2. Казаков Н.Ф., Мартынов Г.А. Технология пищевого машиностроения М.: Машиностроение, 1982. 256 с.
3. Патент № 135540 РФ. МПК В02С18/36. Решетка к устройству для измельчения продуктов / Атаев П.Л., Батыров У.Д. М.: ФИПС, 2013.

**ТЕХНОЛОГИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ РЕШЕНИЙ ОСТРЫХ СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМЫХ ПРОБЛЕМ
НА ПРИМЕРЕ ПРОЕКТА «НАНОТЕРМОТЕРАПИЯ»**

Грибов А.И., *Шептунов С.А.

ИКТИ РАН

***ship@ikti.org.ru**

Проводится анализ социально значимых заболеваний на примере онкологии. Рассматриваются метод избирательного лечения онкологии мягких тканей с минимальными побочными действиями на основе новых композитных материалов и их свойств. Рассматриваются технология и критерии получения материалов программируемых параметров для получения заданных свойств.

Ключевые слова: гипертермия, композит, онкология.

**TECHNOLOGY AND METHODOLOGY FOR SOLUTIONS OF ACUTE SOCIAL
PROBLEMS ON THE EXAMPLE OF THE PROJECT «NANOTHERAPY»**

Gribov A.I., Sheptunov S.A.

IDTI RAS

The analysis of socially significant diseases for example cancer. Discusses the method of selective treatment of cancer soft tissues with minimal side effects on the basis of new composite materials and their properties. Discusses the technology and criteria for obtaining materials programmable parameters to obtain the desired properties.

Keywords: hyperthermia, composite, Oncology.

По статистическим данным, сегодня в России около 14,5 млн выявленных и невыявленных онкологических больных, что ориентировочно около 10 % всего населения России [1]. В год регистрируется около полумиллиона новых онкологических диагнозов, причем, как правило, это 3–4 степень заболевания, когда возможно лечение только радикальными методами.

На сегодняшний день те методы лечения, которыми пользуются на практике, обладают существенными побочными воздействиями на организм и зачастую приводят к тяжелым последствиям для пациента.

Современной науке известны особенности клеток онкологических образований. Однако сам организм не идентифицирует эти новообразования как инородные. Иммунная система организма воспринимает раковые клетки как «свои», снабжает их кровью и питательными веществами, выводит продукты жизнедеятельности, обеспечивает необходимыми веществами. Раковые клетки взрывообразно размножаются, вытесняют и замещают здоровые клетки. Для активного роста им необходимо активное потребление, в результате чего их кровеносная система оказывается иной. Кровеносные сосуды онкологических клеток более рыхлые, пористые и имеют размерность от 100–200 Нм в отличие от обычных – 20–30 Нм. Эта особенность позволяет их идентифицировать и адресно воздействовать на пораженную ткань (локализация материала при помощи размерности применяется на практике при использовании липосомальной и адресной доставки препаратов в онкологические образования).

Как известно, иммунная система организма имеет свойство отторгать инородные образования (инородный белок, инородные тела). Для того чтобы иммунная система организма «увидела» онкологию – вычислила «чужих», необходимо ей помочь, обеспечив инструментарием – средствами обнаружения и идентификации. Такой метод был бы наиболее благоприятен и оптимален для организма, ибо сам организм подбирал бы режимы борьбы с врагом, включая те или иные механизмы воздействия, восстановления и дезактивации. Основными задачами, которые необходимо решить для выработки этого «инструментария», являются:

- локализация индикатора в онкологических образованиях – «мишенях»;
- обеспечение токсикологической совместимости информационных материалов (индикаторов) [2].

Сама технология должна быть доступна и экономически приемлема для обеспечения широких слоев населения в рамках общей помощи населению по программе обязательного медицинского страхования.

Все эти задачи решены методологически, технологически, апробированы на практике, но, к сожалению, имеют узкое место – продвижение в нашей «забюрократизированной» системе. По разным причинам эта тема и эти решения уходят и уводятся от практического применения и использования. Но даже это важное в социальном и гуманитарном смысле дело имеет коммерческую составляющую, и общество не реагирует на предложения, пока эта тема не коснется конкретного человека.

В настоящее время высокочистые композиционные материалы находят широкое применение в различных областях народного хозяйства (ветеринария, пищевая промышленность, сельское хозяйство и другие). Однако ряд направлений ограничен и не развивается из-за высокой цены на их использование, а также отсутствия инфраструктуры для их внедрения.

Особый интерес представляют композиты, состоящие из диоксида кремния, покрытого золотом заданных параметров, которые востребованы в химии, физике и биологии за счет их уникальных оптических, электрических и биологических свойств [3].

Традиционные технологии получения частиц с заданным размером используют химический способ в газовой или жидкой фазе, однако получаемые частицы содержат много примесей (таблица). Существует потребность в производстве очень чистых и устойчивых частиц, например, в ветеринарии и медицине. Предлагаемый проект основан на использовании физических методов получения диоксида кремния и чистых коллоидных методов осаждения для производства комплексных материалов заданного размера. Лабораторные исследования показали высокую чистоту получаемых материалов (таблица).

Таблица

Сравнительная таблица технических характеристик композитных материалов, полученных химическим и физическим способами (условные параметры)

№	Метрологическое оборудование	Отклонение размера SiO ₂ от параметрического оптимума распределения дисперсии, %		Отклонение размера покрытия Au от параметрического оптимума распределения дисперсии, %		Анализ присутствия посторонних материалов композита, %	
		Химический способ	Физический способ	Химический способ	Физический способ	Химический способ	Физический способ
1	Спектрометр	2,11	1,72	2,21	3,05	0,51	0,01
2	Электронный микроскоп	1,9	1,6	5,0	3,0	0,43	0,01
3	Химанализ	—	—	—	—	0,71	0,00
4	Эмиссионный метод	1,9	1,9	3,6	2,1	1,2	0,1
5	Лазерный анализатор спектрограф	2,21	1,72	2,54	3,41	0,91	0,01
	Итого среднее:	2,04	1,74	3,34	2,89	0,95	0,026

Из таблицы видно, что физический способ обеспечивает большую чистоту материала по сравнению с химическим способом, что открывает дополнительные возможности применения материала в медицине, ветеринарии.

В основе разработанного метода лежит свойство композита локализоваться в пораженных тканях. Кровеносная система сосудов онкологических образований имеет отличие от кровеносной системы здоровых тканей. Размерность пор в стенках сосудов пораженных тканей около 100–150 Нм, а здоровых сосудов 5–20 Нм. Размерность сверхчистого композита 30–80 Нм. Композит свободно проходит через здоровые сосуды и проваливается в поры пораженных сосудов, где происходит его концентрация ~1/20.

Требования к составу материала. Высокочистые материалы должны быть нейтральны относительно биологического организма с тем, чтобы не вызывать отторжения и тромбообразования [4]. Это сорбент – аморфный оксид кремния (стекло) и металл – золото (SiO₂ с чистотой 99,99985, содержащий до 15 ppm химических примесей, до 30 ppm газожидких включений. Сырье для производства полупроводников, солнечных батарей, подложек для микросхем, оптоволокон, кварцевой оптики, медицинской техники, высокочистой керамики, монокристаллического кремния). Данный состав материалов устойчив к агрессивным средам и не окисляется. Технология получения материала запатентована [5].

Композит имеет свойство нагреваться при облучении его специальным светом определенной длины волны и мощности. Параметры нагрева получены предварительно расчетным и опытным путем и определяются резонансными частотами, которые зависят от толщины покрытия металла и длины волны света. Применяемый стандартный когерентный облучатель для гипертермии имеет длину волны 810 Нм и воздействует резонансно только на частицы толщиной покрытия 10 Нм. При этом не охватываются другие частицы. Технологически синтезировать толщину покрытия всех частиц 10 Нм – сложная задача. В данном проекте используются возможности излучателя. Расширив спектр облучения, мы увеличиваем ТУ дисперсии покрытия золотом и удешевляем технологический процесс и конечный продукт. ЛСУ охватывает весь резонансный спектр [6].

Конкурентное преимущество данного метода заключается в технологической возможности получения высокочистых композитов заданных параметров (в промышленном масштабе) при доступной отпускной цене готового продукта. Это позволяет конкурировать как в сегменте рынка товаров народного потребления, так и освоить новые сегменты рынка (онкология в медицине и в ветеринарии) [7].

Предварительные исследования на животных, проведенные в ИБХФ РАН, подтвердили эффективность использования частиц SiO₂-Au заданного размера для лечения злокачественных новообразований с помощью гипертермии. По данным Московского государственного университета прикладных биотехнологий, метод с применением композитных материалов в лечении живых организмов может быть сертифицирован для применения в медицине и в ветеринарии в кратчайшие сроки и получить возможность быстрой коммерциализации, как в России, так и за рубежом.

Разработанные и апробированные методы оптимизированы для организации промышленного производства материалов и вспомогательного оборудования [8].

Библиография

1. Оценка безопасности наноматериалов: методические рекомендации. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии, 2007. 59 с.
2. Трещалина Е.М., Жукова О.С., Герасимова Г.К., Андропова Н.В., Гарин А.М. Методические указания по изучению противоопухолевой активности фармакологических веществ // Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ / ред. Р.У. Хабриев. 2-е изд-е. М.: Медицина, 2005. С. 637–651.
3. Алексеев Г., Духанин С., Геков В. Применение лазерно-световых технологий в наноиндустрии // Наноиндустрия. 2008. № 7. С. 12–16.
4. Помогайло А.Д., Розенберг А.С., Уфлянд И.Е. Наночастицы металлов в полимерах. М.: Химия, 2000. 672 с.
5. Патент № 2382734 от 07.04.2008 г. Способ получения высокочистых нанопорошков и устройство для его осуществления.
6. Патент № 107931 от 31.03.2011 г. Трехрежимный лазерно-полихроматический облучатель для гиперпериксического воздействия на биоткани.
7. Ivanov A.V., Rumyantseva V.D., Shchamkhalov K.S., Shilov I.P. Luminescence diagnostics of malignant tumors in the IR spectral range using Yb-porphyrin metallocomplexes // Laser Physics. 2010. V. 20, N. 12. P. 2056–2065.
8. Алексеев Г.М., Дилтай У., Гуменюк А.В. Перспективы применения светолазерных технологий // Автоматическая сварка. 2005. № 5. С. 5–11.

**ЭЛЕКТРОННЫЕ КАНАЛЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ НАУЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ:
ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ТЕЛЕВИДЕНИЯ И ИНТЕРНЕТА**

***Воробьев И.В., Михайлова М.В., Бекмешов А.Ю., Запольская А.Н.**

ИКТИ РАН

***i.ikti.ru@gmail.com**

Авторским коллективом исследуется текущее состояние таких электронных каналов научной информации, как: радио, телевидение и Интернет. Выявляются преимущества и недостатки распространения научной информации в зависимости от использования канала связи. Анализ базируется на исследованиях международной исследовательской и консалтинговой компании TNS Россия (Media & Custom Research), социологических исследованиях, организуемых Всероссийским центром изучения общественного мнения (ВЦИОМ), аналитического центра «Видео Интернешнл», аналитического центра Юрия Левады (Левада-центр) и т.д. В работе проработан значительный массив информации, разнообразный как по составу, так и по методике анализа. Сформулированы предложения, как лучше использовать эти вещательные средства подачи материалов наиболее эффективным образом в целях размещения научно-популярной информации.

Ключевые слова: распространение научной информации, наука, СМИ, анализ вещательных источников СМИ и Интернет, методы подачи научной информации.

**ELECTRONIC CHANNELS OF DISTRIBUTION FOR SCIENTIFIC INFORMATION:
THE ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF TELEVISION AND THE INTERNET**

Vorob'ev I.V., Karlova T.V., Bekmeshov A.Yu., Zapolskaya A.N.

IDTI RAS

A group of authors investigated the current state of electronic channels of scientific information as radio, television and the Internet. Identifies the advantages and disadvantages of dissemination of scientific information, depending on the use of the link. The analysis is based on studies of international research and consulting firm TNS Russia (Media & Custom Research), sociological surveys organized by the Russian Center for Public Opinion Research, the analytical center «Video International», Yuri Levada Analytical Center (Levada Center), etc. The paper elaborated the significant amount of information, rich both in composition and in the method of analysis. Proposals how best to use these broadcast media feed materials the most effective way in order to accommodate the popular scientific information.

Keywords: dissemination of scientific information, science, media, analysis of sources of broadcast media and the Internet, methods of delivery of scientific information.

Учитывая современные условия и текущий уровень развития информационных технологий, в данной работе упор делается на интерактивные и мультимедийные каналы распространения информации. В связи с этим в этой работе проведен анализ преимуществ и недостатков телевидения и Интернета для популяризации научного знания.

Телевидение обладает тремя ключевыми преимуществами. Одно из главных преимуществ – это широкое распространение. Телевизоры есть почти в каждом доме, а некоторые семьи имеют телевизоры почти в каждой комнате. К тому же эти телевизоры остаются включенными большую часть дня. Поэтому телевидение способно оказывать влияние на выбор тем, над которыми мы размышляем, на его фоне мы составляем мнение о людях или организациях, о стране, в которой мы живем. Эти вопросы социального влияния телевидения подтверждаются и статистикой.

На одно домохозяйство, по данным исследования Росстата, к началу 2013 года приходилось 1,5 телевизора (в городах – 1,6, в селах – 1,3). В конце 2013 года, согласно данным АЦВИ, на городскую семью приходилось в среднем 1,7 телевизора (в Москве – 2). В городах с населением свыше 100 тыс. жителей, по данным компании TNS, среднее число телевизоров в домохозяйствах в 2013 году составило 1,9. Очевидно, что чем крупнее населенный пункт, тем больше телевизоров в семьях.

Рост телевизионной оснащенности домохозяйств связан также с увеличением числа доступных телеканалов. По данным аналитического центра «Видео Интернешнл» [1], наблюдается планомерный рост среднего числа телеканалов в городских домохозяйствах, динамика представлена на рис. 1.

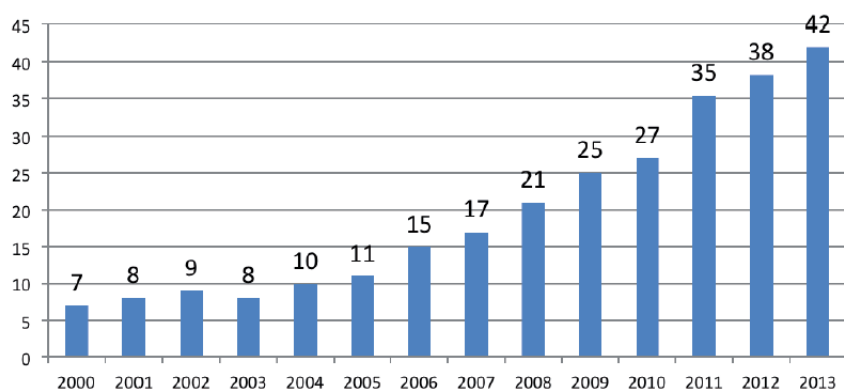


Рис. 1. Рост среднего числа телеканалов в городских домохозяйствах в 2000–2013 гг.

Увеличение числа телеканалов в домохозяйствах все это время обеспечивалось ростом абонентской базы телевидения и распространением неэфирных технологий доставки (кабельное и спутниковое телевидение, IPTV). По данным Росстата, в конце 2011 года среднее число телеканалов, принимаемых городскими домохозяйствами, достигло 30, а в сельских населенных пунктах составило 20 каналов.

В среднем с каждым годом благодаря распространению способов доставки эфирных телеканалов и переходу на цифровое эфирное вещание возможности выбора телеканалов у населения растут. Практически все телеканалы за последние два-три года существенно расширили зону своего технического проникновения и стали доступны большому числу людей.

Таблица 1

Возможности приема общедоступных (эфирных) телеканалов (% городских домохозяйств), телевидение глазами телезрителей/АЦВИ, 2012

Эфирные телеканалы	2010 г.	2012 г.
Первый канал	98	99
Россия 1	98	99
НТВ	95	97
СТС	88	93
ТНТ	87	90
Россия К (Культура)	79	89
РЕН ТВ	83	89
Россия 2 (Спорт)	65	84
ТВ Центр	66	81
Домашний	70	77
Пятый канал	66	74
ДТВ/Перец	64	69
Звезда	55	67
ТВ3	65	67
Россия 24	57	66
«Канал Ю» / МУЗ ТВ	68	62
MTV	52	61
7ТВ/Семерка/Disney	46	52
2×2	34	50
Euronews	37	45

Многие специалисты считают телевидение наиболее эффективным средством доставки сообщения для аудитории, поскольку оно обеспечивает широкий охват. Даже при том, что покупка времени на ТВ стоит больших денег, благодаря широкому охвату аудитории телевидение обеспечивает высокую эффективность затрат. При этом сама покупка времени для донесения информационного сообщения совсем необязательна, при проведении научно-популяризационных кампаний возможно использование новостей, телешоу и других информационных сообщений для достижения поставленной задачи.

Следует обратить внимание на выбор телеканала, на охват аудитории, так как на фоне нарастающей конкуренции со стороны новых медиа, более жесткой становится конкуренция на самом телевизионном рынке. Высокие темпы проникновения платного телевидения ужесточают борьбу за аудиторию и углубляют ее фрагментацию.

Таблица 2

Изменение целевых аудиторий телеканалов в 2013 году
(Международная исследовательская и консалтинговая компания TNS) [2]

Канал	Базовая целевая аудитория канала		
	2011 г.	2012 г.	2013 г.
Первый канал	18+	14–59	Без изменений
Россия 1	18+	25+	Без изменений
ТВЗ	25–54	Все 25–59	Без изменений
Домашний	Ж 25–60	Ж 25–59	Без изменений
Россия 2	М 18+	М 25+	М 25–59
Перец	25–54	25–59	25–49
MTV	11–34	14–34	Без изменений
ТНТ	6–54	14–44	Без изменений
РЕН ТВ	25–54	25–59	Без изменений
Пятый канал	18+	25–59	Без изменений
Звезда	18+	29+	Без изменений
СТС	6–54	Без изменений	10–45
Disney	Все 6–44	Без изменений	10–45
MTV/Пятница!	14–34	Без изменений	14–44

Несмотря на процесс фрагментации и углубление различий в телевизионных предпочтениях различных социальных групп аудитории, массовые телевизионные вкусы и пристрастия россиян остаются достаточно стабильными и неизменными. Развлекательный контент остается фаворитом зрителей. В телесмотрении доминируют три жанра: телесериалы (30 %), музыкальные и развлекательные шоу (27 %) и художественные фильмы (16 %). На просмотр телепрограмм, формирующих повестку дня (новости и социально-политические программы) в среднем уходит 17 % от совокупного объема телепотребления россиян.

Телевидение способно оказывать на зрителей мощное воздействие. Сочетание изображения, звука, цвета, движения и сюжета порождают прочную эмоциональную реакцию. Другими словами, привлекательная информация на телевидении создает положительные ассоциации с персоной, организацией или государственным органом.

Тем не менее, следует обратить внимание на то, что присутствие даже первого мультиплекса (базовые 9 каналов) распространены еще не на всей территории России.

Несмотря на свою эффективность, телевизионные способы популяризации научного знания имеют ряд недостатков. К ним относятся: высокая стоимость размещения информации, перегруженность телевидения другими информационными материалами (в том числе рекламными), низкая избирательность и негибкость.

Наиболее серьезным ограничением для использования эфирного телевидения является высокая стоимость подачи информации и распространения. Хотя в расчете на одного охваченного потребителя стоимость подачи информации невысока, ее абсолютная стоимость может оказаться неприемлемой для научных организаций.

Жанровые предпочтения телезрителей последние несколько лет вполне стабильны. Сегодня, как и три-четыре года назад, более 80 % своего времени перед экраном россияне проводят за просмотром сериалов, развлекательных программ, фильмов и новостей. Поэтому эффективная подача научной информации об организации, человеке или событии возможна, по сути, только в новостных роликах, отдельных познавательных программах и документалистике. Распределение представлено на рис. 2.

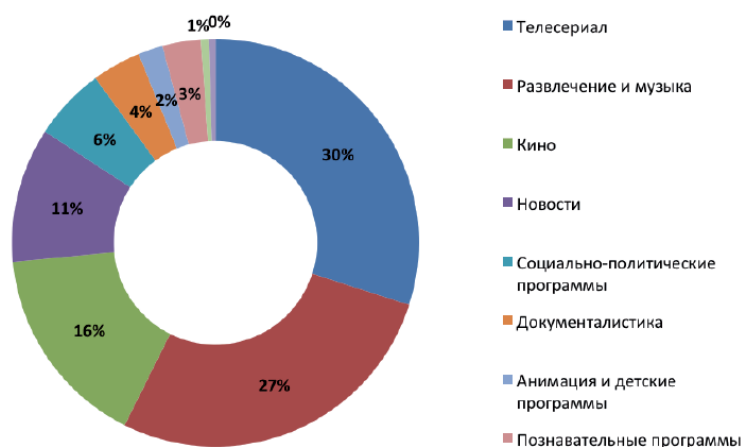


Рис. 2. Доля жанров, % от совокупного объема телепросмотра [2]

Интернет в России появился более 20 лет назад и продолжает интенсивно развиваться как по уровню проникновения, так и по функциональным возможностям.

Кроме того, многие инновационные средства вещания и распространения информации построены исключительно на Интернет-технологиях, которые переплетаются с радио и телевидением.

Учитывая, что в 2013 году появились различные направления высокоскоростного доступа к сети, в частности LTE – для мобильного доступа, GPON – для проводного доступа. Технология GPON позволяет обеспечить скорость до 1 Гбит/с и особенно интенсивно развивается в Москве, Московской области, а также городах-миллионниках [3].

Изучение тенденций, преимуществ и недостатков популяризации научного знания в Интернет это необходимое условие для своевременного принятия мер по его оптимальному использованию области науки и образования.

Прежде всего, следует проанализировать тенденцию использования основных мобильных устройств для выхода в Интернет (рис. 3).

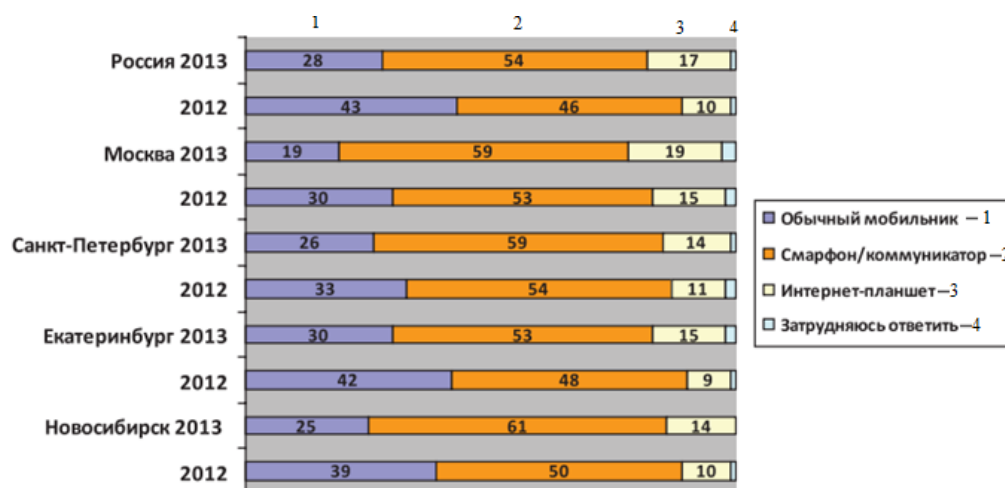


Рис. 3. Динамика использования мобильных устройств в Интернет, % от пользователей мобильным Интернетом (октябрь 2012 г. – октябрь 2013 г.)

По данным TNS Web Index [2], популярность мобильного Интернета в России постоянно растет. Об этом свидетельствуют результаты исследования и «Mail.ru Group», по их мнению, аудитория мобильного Интернета в России за 2013 год увеличилась на 53 %, до 25,5 млн пользователей, по сравнению с аналогичным показателем 2012 года.

Хотя уровень пользователей Интернета постоянно растет, отдельно следует сказать о доверии аудитории к среде Интернет.

Так, по данным Аналитического центра Юрия Левады (www.levada.ru), ежемесячно проводящего опросы, позволяющие получить результаты на основе репрезентативной выборки из 1600 человек от 18 лет и старше из 130 городских и сельских населенных пунктов 45 регионов страны, в 2013 году таких опросов, характеризующих потребление гражданами России информации, в том числе через Интернет, было несколько, к ним можно отнести: «Откуда россияне узнают новости» (20–24 июня 2013 года), «Интернет и СМИ» (23–26 августа 2013 года), «Цели и конфиденциальность россиян в Интернете» (25–28 октября 2013 года).

Как показали социологические опросы, за последние 4–5 лет в потреблении информации россиянами произошли значительные изменения. Интернет не является основным источником информации, вызывающим доверие, телевидение здесь вне конкуренции (рис. 4).

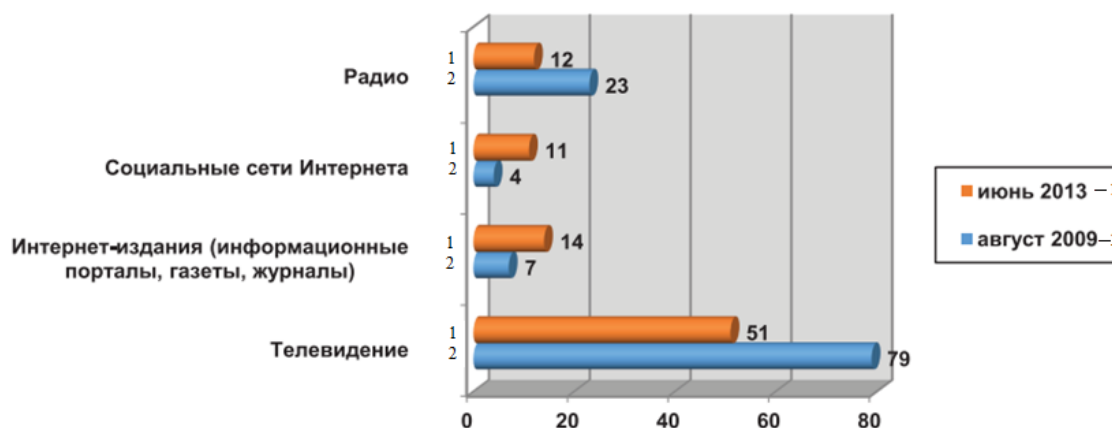


Рис. 4. Источники информации, которым доверяют граждане России в освещении новостей в стране и в мире, % от числа опрошенных

Основной метод работы среднестатистического пользователя сети – это поиск информации через всемирную паутину. Так, например, к самому популярному в Рунете поисковику «Яндекс» в 2013 году ежемесячно обращалось в среднем 50 млн человек.

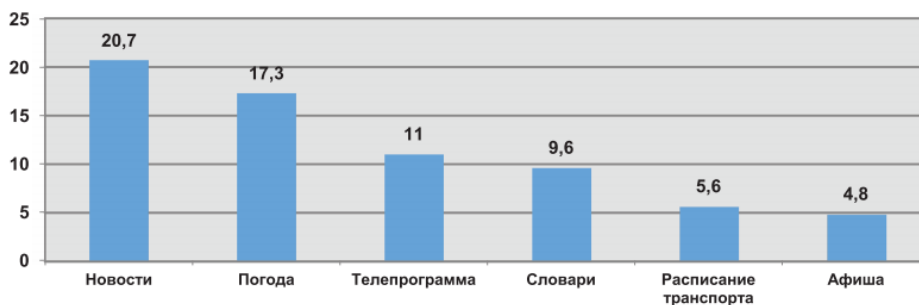


Рис. 5. Посещение сервисов Яндекса россиянами в месяц, млн человек (октябрь 2013 г., аналитический центр Яндекса)

Все поисковые запросы пользователей «Яндекса» за неделю содержат в общей сложности более 3 млрд слов. Пять самых часто употребляемых у российских пользователей слов – «онлайн», «скачать», «бесплатно», «смотреть» и «игра». Самое популярное слово – «онлайн». То есть, другими словами, основная масса аудитории нацелена только на потребление развлекательного контента.

В последнее время средства обмена информацией и общения между людьми посредством Интернета все чаще обозначаются термином «социальные медиа», к которым принято причислять социальные сети, блоги, виртуальные игры, геосоциальные сервисы, Интернет-сообщества и прочие online-технологии, позволяющие пользователям общаться между собой.

Особенность социальных медиа – создание и размещение контента самими пользователями, которые могут обмениваться своими мнениями, опытом и знаниями, делиться новостями, информацией, видео, фото и музыкой, взаимодействовать друг с другом, налаживать контакты.

По данным Левада-центра, число активных пользователей Интернет для общения постоянно растет (рис. 6 и 7).

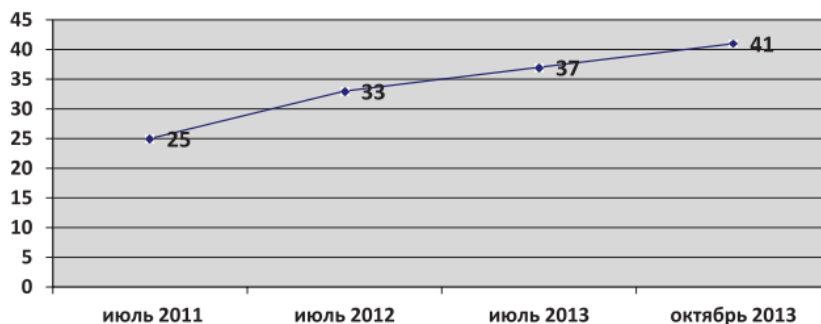


Рис. 6. Доля россиян, использующих Интернет для общения, % от числа опрошенных

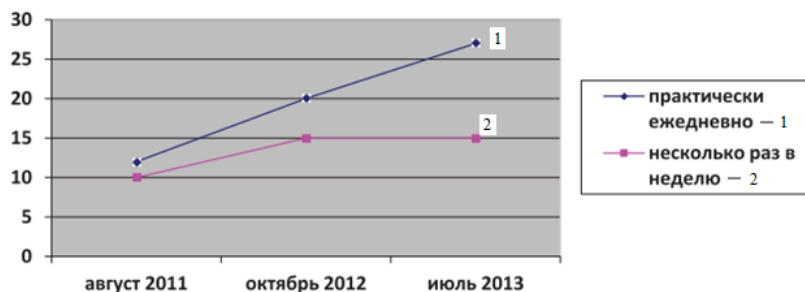


Рис. 7. Доля россиян, посещающих социальные сети в Интернете, % от числа опрошенных

Интересной особенностью Рунета является то, что большинству россиян соцсеть «ВКонтакте» заменяет не только «Facebook», но и «Twitter». Сеть вошла в десятку самых популярных социальных сетей в мире, заняв восьмое место. Рейтинг был составлен компанией «AdobeSystems» на основе данных «comScore» и «Википедии». Популярности «ВКонтакте» добавляет и тот факт, что фотосервис «Instagram», активно набирающий пользователей в России, интегрируется в российскую социальную сеть.

Эксперты утверждают, что в 2015 году любая форма подачи информации уже не сможет обойтись без использования социальных медиа.

Одна из причин роста популярности Интернета состоит в том, что он обладает явными преимуществами перед другими СМИ. Самое главное – это то, что распространение информации является относительно недорогим, зачастую даже бесплатным. Через Интернет можно распространять научную информацию, которая мотивирует людей реагировать на нее путем обратной связи или голосованием своими просмотрами и длительностью просмотров [4].

Еще одним преимуществом является то, что подачу научной информации можно кастомизировать под потенциальную аудиторию и свои послания, распространяемые в среде Интернет. Благодаря появлению различных баз данных, в том числе широкого распространения социальных сетей, при подаче информации могут быть учтены ключевые демографические и поведенческие характеристики, можно создать впечатление, что эта информация предназначена лично для посетителя ресурса.

Несомненно, главным недостатком онлайн-индустрии доставки контента до пользователя является неспособность специалистов по стратегическим и креативным вопросам регулярно создавать качественный контент. Интернет перегружен информацией, зачастую вызывает у потенциального адресата научного контента отторжение даже от полезной информации.

Контент для популяризации научного знания должен соответствовать общей «развлекательной» тенденции в Интернете с целью привлечения внимания аудитории, которая постепенно отворачивается от традиционных масс-медиа. Фактически аудиторию можно привлекать только мини-фильмами и короткими инфографическими зарисовками, более 2–3 минут потребитель не будет смотреть любой контент, тем более научный [5].

Мобильные телефоны стали популярным средством телекоммуникаций, а появление технологии беспроводных коммуникаций, обеспечивающих связь в сети Интернет – смартфона на одном уровне со стационарным компьютером, возможно, является наиболее важным изменением в системе коммуникаций в новом тысячелетии.

Мобильные телефоны также способствовали появлению новых линеек украшений «для себя». Факт наличия рынка этих изделий говорит о том, что молодежь использует мобильные телефоны в качестве модных аксессуаров и средств формирования своего персонального имиджа. Взрослые люди, напротив, относятся к мобильным телефонам просто как к удобному средству связи. Молодежь также рассматривает свои телефоны в качестве элемента существующей системы развлечений, что открывает огромные возможности для популяризации научного знания через мобильные платформы.

Гибридные технологии и конвергенция является важным символом в традиционных вещательных СМИ, где различия между радио, телевидением, прессой и Интернетом постепенно стираются.

Самый важный потенциал интерактивных медиа заключается в том, что они могут объединять в себе преимущества телевидения (оказывающие мощное воздействие образы), радио (создавая фоновый шум), газет и журналов (способность всестороннего информирования) и Интернета (персональные и интерактивные контакты). Конвергенция предоставляет новые возможности в области проводной и беспроводной связи, которые в свою очередь дают новый потенциал для продвижения научного знания и популяризации науки.

После того как определены преимущества и недостатки радио, телевидения, Интернет мы можем сформулировать, как лучше использовать эти вещательные средства подачи материалов наиболее эффективным образом.

Традиционные радиостанции используют два типа радиосигналов – АМ и FM – и обслуживают в основном локальное население. Кроме того, кабельное и спутниковое радио, радиостанции малой мощности и веб-радио. Обращение к целевой группе используется, главным образом, для охвата местной аудитории. Радиослушатели могут испытывать привязанность к радио на личностном уровне и проявлять высокую лояльность своим любимым радиостанциям, но радио иногда используется просто для создания звукового фона.

Основными типами телевизионных систем являются проводные и беспроводные сети, местное, общественное, кабельное и платное телевидение. Специализированное и интерактивное телевидение, а также IPTV предоставляют зрителям возможности управления выбором программ.

ТВ является удобным средством распространения информации, потому что оно способно распространять звуковые и визуальные образы и воздействовать на эмоции и мысли телезрителей.

Основные выводы и идеи по использованию эфира (вещательных СМИ) для достижения популяризации научных знаний можно сформулировать следующим образом:

Рационально использовать вещательное средство подачи информации – *телевидение*, если:

- необходимо охватить массовую аудиторию;
- интересы целевой аудитории соответствуют определенному типу программ телевидения;
- в распоряжении достаточно большой бюджет на реализацию компании по популяризации научного знания;
- идея или «месседж» для целевой группы требует визуального и звукового представления;
- необходимо продемонстрировать что-то такое, что аудитория могла бы увидеть собственными глазами (необычное изобретение или научное событие).

Рационально использовать вещательное средство подачи информации – *Интернет*, если:

- необходимо распространение научного знания в условиях крайне ограниченного бюджета, зачастую некоторые мероприятия по популяризации могут быть даже бесплатными;
- информацию необходимо четко кастомизировать под потенциальную аудиторию;
- научный контент соответствует общей «развлекательной» тенденции и не превышает 2–3 минут хронометража;
- необходимо оказывать влияние на молодежный сегмент;
- есть возможность использовать конвергенцию для подачи научного контента, объединяя преимущества телевидения, радио и печатных СМИ.

Библиография

1. Полуэхтова И.А. Телевидение глазами телезрителей. Аналитический центр «Видео Интернешнл». М.: НИПКЦ Восход-А, Москва 2012. С. 68–75.
2. Данные по аудитории. Россия, 100 наиболее популярных программ. TNS Media Intelligence [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tns-global.ru/rus/index.wbp>, 2015. С. 1–8.
3. Годовой отчет Федеральной службы государственной статистики за 2013 год. Комплексное наблюдение условий жизни населения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.gks.ru/free_doc/new_site/rosstat/god_2013.docx. М., 2013. С. 20–27.
4. Шептунов С.А. Конструкторско-технологическая информатика – научный фундамент модернизации России // Известия КБГУ. 2012. Т. 2, № 5. С. 2–4.
5. Шептунов С.А. Школа молодых ученых как ключевой инструмент для создания образовательной среды, адекватной современным вызовам общества // Известия КБГУ. 2013. Т. 3, № 6. С. 1–3.

АНАЛИЗ ПОНЯТИЯ «ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЩЕСТВО» В СОВРЕМЕННОМ КОНТЕКСТЕ

Романова Е.Ю.¹, *Карлова Т.В.²

¹МГУТУ им. К.Г. Разумовского

²ИКИ РАН

*karlova-t@yandex.ru

Рассматриваются этапы становления информационного общества в период современной информатизации, определение основных критериев его развития, а также анализируется перспективность развития информационного общества в современной России.

Ключевые слова: информационная революция, информатизация, информационное общество, критерии развития, этапы становления.

AN ANALYSIS OF THE CONCEPT «INFORMATION SOCIETY» IN THE MODERN CONTEXT

Romanova E.Y.¹, Karlova T.V.²

¹State University of Technologies and Management named after K.G. Razumovskiy

²IDTI RAS

It is considered the stages of development of the information society, the main criteria of its development, and examined the prospects of information society development in contemporary Russia.

Keywords: Information revolution, informatization, information society, criterias of development, stages of development.

Введение. В последние десятилетия главной чертой при определении современного периода развития человеческого сообщества является процесс глобальной информатизации, что означает процесс, при котором создаются условия, удовлетворяющие потребностям любого человека в получении необходимой информации. На сегодняшний день в каждой социальной системе возникает подобная проблема – накопление огромного потока информации влечет за собой повышение интенсивности ее использования во всех сферах жизни общества и приводит к разделению информации внутри общества, а следовательно, возникновению новых ее форм, таких как, например, социальная, технологическая, научно-техническая и т.п.

Таким образом, по исследованиям большинства как иностранных, так и отечественных философов и учёных (Белл Д., Масуда Й., Кассель М., Хаяши Ю., Кларк А., Нора С., Минк А., Драккер П., Махлуп Ф., Постер М., Кастельс М., Ракитов А.И., Чернавский Д.С., Мелюхин И.С., Курносков И.Н., Нисневич Ю.А., Мелюхин С.Т., Кутырев В.А., Федотова В.Г., Костин А.В., Скородумова О.Б. и др.) стремительно нарастающие изменения в технологической сфере повлекли за собой формирование концепций информационного общества что, в свою очередь, привело к доминированию цивилизационного подхода к историческому процессу, позволяющему фиксировать различные стадии цивилизационного развития человечества по пути технологического прогресса [1].

Основные этапы становления информационного общества. В историческом аспекте формирования современного информационного общества можно выделить четыре основных этапа, которые впоследствии получили определение «информационная революция» (которые тесно связаны с технологическими революциями в истории развития цивилизации, по исследованиям философа А.И. Ракитова), преобразование общественных отношений вследствие кардинальных изменений в сфере обработки информативного знания.

Первый этап связан с появлением письменности. Письменность дала людям возможность для накопления и распространения знаний.

Второй этап (середина XVI в.) связан с книгопечатанием. Возникла возможность сделать информацию массово-доступной, а не только ее сохранять. Грамотность стала явлением, охватившим широкие массы народа. Произошло ускорение роста науки и техники, что послужило основой промышленной революции. Книжки перешагнули национальные границы, и это привело к началу создания общечеловеческой цивилизации.

Третий этап (конец XIX в.), связан с большим прогрессом средств связи (появление телеграфа, телефона, радио), что позволило человечеству быстро передавать информацию на большие расстояния [2].

Четвертый этап (конец XX в.) связан с появлением микропроцессоров и персональных компьютеров. Вскоре возникли компьютерные телекоммуникации, сильно изменившие системы хранения и поиска информации. Благодаря слиянию компьютерной и телекоммуникационной революций стали создаваться информационные сети огромных масштабов, в том числе глобальные. По этим сетям можно гораздо быстрее передавать, находить и обрабатывать необходимую информацию. Четвертая информационная революция произвела существенные перемены в развитии общества – переход в стадию информационного общества [3].

С середины прошлого века, когда стали очевидны основные предпосылки к смене парадигмы эпохи, одним из основных объектов внимания исследователей стало информационное общество как социальная, экономическая и культурная система. Результатом таких исследований стало понятие «информационное общество» [4], введенное

в научный оборот почти одновременно американскими и японскими исследователями, которое является фактически синонимом понятия «постиндустриальное общество» [5]. Заменяет своей значимостью и содержанием целый ряд понятий, таких как, например, «посткапиталистическое общество» [6], «постбуржуазное общество» [7], «пост-историческое общество» [8] и пр., а также такие, как «технотронное» [9], «программируемое» [10], «общество, основанное на знаниях» («the knowledgeable society» или «knowledge-value society») [11] и некоторые другие актуальные понятия, способные описать только какой-либо конкретный момент в современном этапе развития цивилизованного общества. Поэтому наиболее актуальным и на данный момент являются понятия – «общество постиндустриальное» и «информационное». По мнению Д. Белла, термин «постиндустриальное общество» более точно, чем термины «общество знания», «информационное общество», «общество профессионалов», отражает ту «быструю эрозию», которой подверглись «старые общественные отношения (основанные на собственности), властные структуры (сконцентрированные на узких элитах) и буржуазная культура (базирующаяся на принципах экономии и отложенного удовлетворения)» [3]. Сравнительная характеристика основных черт индустриального и информационного общества, представленная в табл. 1, в некоторой степени отражает ту «быструю эрозию» (Д. Белл).

Таблица 1

Сравнительная характеристика индустриального и информационного общества

Черты индустриального общества	Черты постиндустриального (информационного) общества
1. Средство и продукт производства – капитал и товары. 2. Широкое применение механизмов, технологического оборудования. 3. Потребление товаров, продуктов производства	1. Средство и продукт производства – знания, интеллект и услуги. 2. Всеобщая автоматизация производств и компьютеризация общества. 3. Увеличение доли умственного труда. 4. Способность к творчеству. 5. Возрастает спрос на знания

Итак, информационное общество определяется как общество, в котором большинство работающих занято производством, хранением, переработкой и реализацией информации. Информация становится предметом всеобщего потребления. Современное информационное общество обеспечивает любому субъекту доступ к любому источнику информации. Появляются новые критерии оценки уровня развития общества – количество компьютеров, количество подключений к Интернету, количество мобильных и стационарных телефонов и т.д. Следовательно, в настоящее время можно выделить основные отличительные признаки информационного общества, такие как:

- 1) увеличение роли информации, знаний и информационных технологий в жизни общества;
- 2) возрастание числа людей, занятых информационными технологиями, коммуникациями и производством информационных продуктов и услуг, рост их доли в валовом внутреннем продукте;
- 3) нарастающая информатизация общества с использованием телефонии, радио, телевидения, сети Интернет, а также традиционных и электронных СМИ;
- 4) создание глобального информационного пространства, обеспечивающего: эффективное информационное взаимодействие людей; их доступ к мировым информационным ресурсам; удовлетворение их потребностей в информационных продуктах и услугах;
- 5) развитие электронной демократии, информационной экономики, электронного государства, электронного правительства, цифровых рынков, электронных социальных и хозяйствующих сетей.

Основным признаком и качественным параметром общества нового типа была признана особая роль знания и основанных на нем технологий, доминирование информации, ускорение технического прогресса, уменьшение доли материального производства в совокупном общественном продукте, развитие сектора услуг, повышение качества жизни. Информационные технологии стали неотъемлемой частью информационного общества; они стали не только помогать нам в жизни, но и упростили ее. Так сложилось, что они стали определять внешний облик современного общества. Исходя из этого, в современных условиях неконтролируемого потока информации, которой ежедневно становится все больше и больше, привело к возникновению целого ряда проблем, решение которых необходимо получить в ближайшем будущем для того, чтобы избежать возникновения «информационного хаоса» [12].

Во-первых, малая эффективность попыток гарантировать в современных условиях защиту прав интеллектуальной собственности, прежде всего на технические знания, придает определенную зыбкость и неустойчивость самому понятию «собственность».

Во-вторых, либерализация банковской деятельности и информатизация сферы обращения нарушают весьма существенные принципы стабильного функционирования рыночной, капиталистической экономики.

В-третьих, существенным и ранее не учитывавшимся фактором общественного развития становится феномен «кризиса человека». Дело в том, что человек, живущий в развитых странах, подвергается воздействию огромных потоков информации, возможности осмысления которой неограниченны. Это ведет к тому, что часть информации вообще не поддается осознанному восприятию. Возникает проблема неадекватной реакции политиков, руководителей делового мира на происходящие события.

В-четвертых, потенциальным источником угрозы существованию человеческой цивилизации становятся не только проблемы экологии, но и научные эксперименты (в частности, в области генетики, биотехнологий, строения материи и т.д.), последствия которых далеко не всегда учитываются.

Источники угрозы человечеству определяются не только экологическими проблемами, но и проведение научных экспериментов (например, генетика, биотехнологии).

Использование компьютеров во всех сферах человеческой деятельности позволяет:

- 1) обеспечить доступ к надежным источникам информации;
- 2) избавить людей от рутинной работы;
- 3) ускорить принятие оптимальных решений;
- 4) автоматизирует обработку информации в производственной и социальной сферах.

Движущей силой информационного общества становится производство информационного продукта, а не материального. Материальный продукт, в свою очередь, становится более «информационно ёмким», а его стоимость в значительной степени зависит от объема допущенных в его структуре инноваций, от дизайнерского решения, от качества маркетинга.

Перспективы развития информационного общества в современной России. Россия, как и другие государства, не сразу пришла к информационному обществу. И поскольку в нашей стране в середине прошлого века на смену авторитарному режиму пришел демократический, а рыночная экономика сменила командную, то только на заре XXI века федеративное государство в России приобрело форму децентрализованного федерализма, и в итоге индустриальное общество сменилось информационным.

В России некоторые финансово-промышленные группы, связанные с эксплуатацией природных ресурсов, объективно заинтересованы в том, чтобы Россия стала зоной периферийных интересов «центров силы» современного мира. Эта стратегия обеспечивает как минимум на несколько десятилетий вперед процветание деловых и политически влиятельных кругов, связанных с добычей нефти, газа, редкоземельных металлов и т.д. Попутно определенные льготы от подобной ориентации может получить и часть российского общества. Однако такая стратегия не гарантирует, что после исчерпания базовых природных ресурсов у России останутся источники не только развития, но и выживания как государства. Она создает риск углубления внутренних противоречий в стране, в частности между относительно процветающими субъектами Федерации, где находятся основные природные ресурсы, и дотационными регионами. Она чревата продолжением деградации научного, интеллектуального потенциала России. Выход из подобного положения возможен при переходе к новой гибкой стратегии, позволяющей в максимально возможной степени использовать имеющиеся у России возможности в глобальном мире современных информационных технологий для занятия наиболее достойного места.

Заключение. Культура информационного общества, по сравнению с культурой общества индустриального, обладает целым рядом особенностей – сетевым принципом функционирования и распространения, виртуальным характером, кратковременной, спонтанной подачей информации. Сегодня сетевая культура настолько подчинила себе природу других культур, что ее приходится искусственно восстанавливать «в качестве одной из культурных форм» – среда, обладающая собственными характеристиками – «киберпространством» и «вневременным временем» [13], настолько специфична, что она проявляет способность к подчинению своему влиянию всех иных семиотических систем, не позволяя им существовать в собственных онтологических границах. Письменная культура выступала как иная, возможно, более высокая по семантическим и аксиологическим показателям, по отношению к бесписьменной культуре. Сетевая же культура подчиняет своему влиянию и культуру слова, и культуру письма, принципиальным образом трансформируя их внутреннюю структуру.

В рамках такой культуры объективно изменяются значение и роль личности, активность которой базируется, главным образом, внутренними, а не внешними побудительными стимулами деятельности. И становление этой системы оказывается обусловленным не только материальным прогрессом, но и изменением ценностных ориентаций личности.

Библиография

1. Костин А.В. Тенденции развития культуры информационного общества: анализ современных информационных и постиндустриальных концепций // Знание. Понимание. Умение. № 4. М.: Культурология, 2009. 223 с.
2. Чернов А.А. Становление глобального информационного общества: проблемы и перспективы. М.: Дашков и К, 2003. 232 с.
3. Лялюшко Н.С. Некоторые тенденции в развитии баз данных за рубежом // Информационные продукты, процессы и технологии. Т. 2. М.: ВИНТИ, 1996. 68 с.
4. Masuda Y. The Information Society as Postindustrial Society. Wash.: World Future Soc, 1983. 29 p.
5. Белл Д. Грядущее постиндустриальное общество: опыт социального прогнозирования: пер. с англ. 2-е изд. испр. и доп. – М.: Academia, 2004. 788 с.
6. Dahrendorf R. Class and class conflict in Industrial Society. Stanford, 1959. P. 51–105.
7. Lichtheim G. The New Europe: today and tomorrow. N. Y., 1963. 194 p.
8. Boulding K. The Meaning on the XXth century: the great transition. N. Y., 1964.
9. Brzezinsky Zb. Between two ages. N. Y., 1970. 9 p.
10. Touraine A. Critique de la modernité. P., 1992. P. 312–322.
11. Lane R.E. The Decline of politics and ideology in the knowledgeable society // American Sociological Review. 1966, V. 31. P. 649–662.
12. Фромм Э. Человеческая ситуация. М., 1996. 159 с.
13. Кастельс М., Киселева Э. Россия и сетевое сообщество. М.: Мир России, 2000. 139 с.

СОЦИОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИНФОКОММУНИКАЦИЯМ

***Запольская А.Н.¹, Михайлова М.В.²**

¹ИКТИ РАН, ²МГТУ «СТАНКИН»

*zap-ann@yandex.ru

В современных условиях резко возрастает внимание к инфокоммуникации как к социальному феномену. Инфокоммуникации в широком смысле слова рассматриваются как процессы социального и культурного взаимодействия, взятые в их знаковом контексте. Инфокоммуникации в данной интерпретации – это процесс обмена информацией и передачи сведений между двумя людьми или в группе людей.

Ключевые слова: инфокоммуникации, кодирование информации, управленческая деятельность.

SOCIODYNAMIC APPROACH FOR INFOCOMMUNICATIONS

Zapolskaya A.N.¹ Mikhailova M.V.²

¹IDTI RAS, ²MSTU «STANKIN»

In modern conditions sharply increases the attention to information communications as a social phenomenon. Infocommunications in a broad sense considered as a process of social and cultural interaction, taken in their context landmark. Infocommunications in this interpretation is the process of information exchange and transfer of information between two people or a group of people.

Keywords: infocommunications, information encoding, management activities

Основной целью инфокоммуникации является точное понимание принимающей стороной отправленного сообщения, поэтому коммуникация может быть определена не просто как передача информации, а значения или смысла с помощью символов.

Для нормальной эффективной организации труда, для управления совместной координированной деятельностью на предприятии большое значение имеет все, связанное с приемом, переработкой и передачей информации. Здесь необходимы синхронизация, правильное и точное понимание передаваемого, чтобы последующие действия были также целенаправленными и эффективными.

Все виды управленческой деятельности основаны на обмене информацией. Поэтому инфокоммуникации являются необходимым связующим процессом. Однако сам процесс инфокоммуникации состоит из большого числа элементов и этапов. На рис. 1 представлены все эти элементы и их взаимосвязь.

Источник разрабатывает послание, состоящее из символов. Символы затем превращаются в сигналы или кодируются. Сигналы посылаются через каналы получателю, который их декодирует и/или интерпретирует и под действием полученной информации меняет свое поведение (состояние). Затем происходит обмен ролями участников процесса инфокоммуникации, при котором весь цикл повторяется снова, но в обратном направлении. Наличие обратной связи позволяет источнику оценить адекватность реакции получателя поступившей ему информации, после чего процесс инфокоммуникации заканчивается или происходит ее новый цикл.

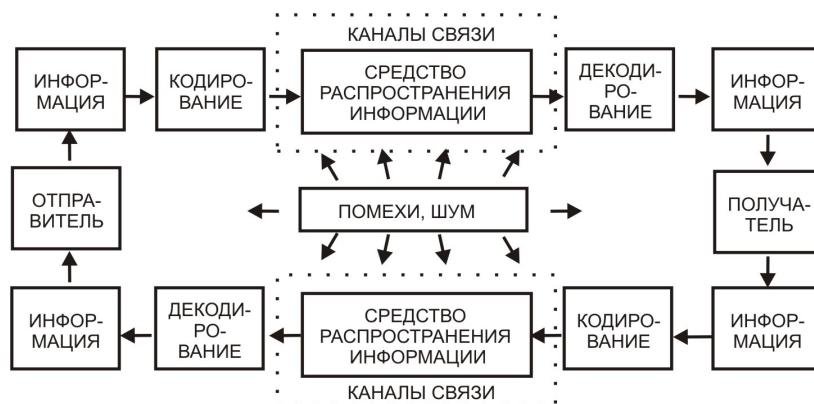


Рис. 1. Элементы и этапы процесса инфокоммуникации

В процессе инфокоммуникации можно выделить четыре этапа. На этапе кодирования и отправки информации производится идентификация индивида, т.е. указание адреса получателя, формулирование смысла и значения инфокоммуникации, кодировка идеи, т.е. трансформация передаваемого значения в послание или сигнал, выбор носителей информации или системы знаков, формирование послания, шифрование послания. На этапе передачи послание отправляется передатчиком по каналу связи в приемник. На этапе получения, декодирования и восприятия

информации имеет место фиксация факта получения послания, идентификация индивида, т.е. определение адреса отправителя, декодирование в понятное и приемлемое значение, реакция получателя. На этапе обратной связи происходит последовательная реализация первых трех этапов в обратном направлении.

Рассмотренные четыре этапа всегда присутствуют при любой инфокоммуникации, изменяются только виды информации, формы передаваемых сигналов, реализация шифраторов и дешифраторов. В качестве примера можно рассмотреть инфокоммуникацию двух людей, т.е. межличностное общение. Такую инфокоммуникацию можно представить моделью, изображенной на рис. 2.

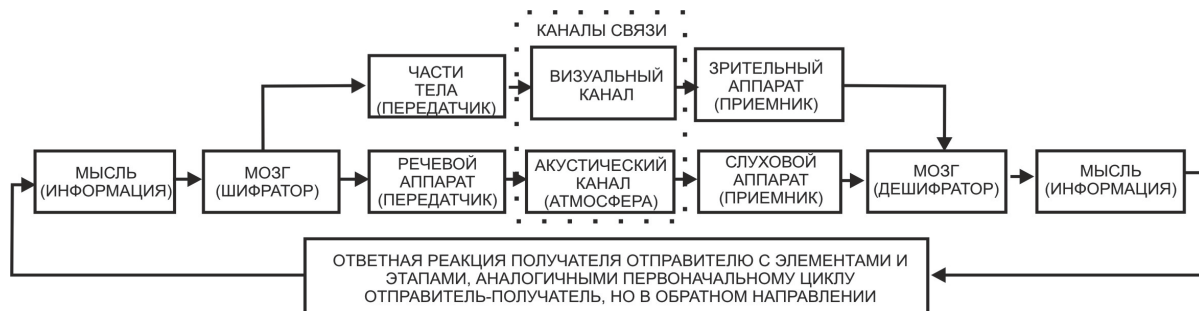


Рис. 2. Межличностное общение как пример простейшей инфокоммуникации

Исследования показали, что 55 % информации воспринимается через жесты, позы и выражение лица, 38 % – через интонации и модуляции голосом и только 7 % – через слова [1] (рис. 3). Практически это означает: важнее не что говорится, а как говорится.

Следует обратить внимание, что эти соотношения сохраняются как при одноадресном общении, в котором участвуют два объекта коммуникации, так и при безадресном, т.е. при массовой коммуникации, в которой участвуют один отправитель и несколько получателей или несколько отправителей и несколько получателей. Примером такой безадресной коммуникации может служить митинговая коммуникация.



Рис. 3. Весовые соотношения влияния способов передачи информации на её восприятие при межличностном общении

Совершенно другая ситуация возникает при использовании инфокоммуникаций – форме связи, способе передачи информации на основе применения информационно-коммуникационных технологий, когда, как правило, исчезают интонации, модуляции голосом, жесты, позы и выражение лица и значимость письменного слова или символов иногда увеличивается до 100 %.

До эпохи Интернета компьютерные и телекоммуникационные технологии развивались практически обособленно. Под телекоммуникациями практически однозначно понимали речевую и телеграфную связь, а передача данных, за исключением локальных сетей и узкоспециализированных систем, занимала незаметную долю в мировых информационных потоках. Однако ситуация кардинально изменилась с развитием Интернета и других информационных технологий. Использование Интернета стремительно расширялось не только как источников и средств передачи информации, но и как незаменимых инструментов для бизнеса, управления, торговли, образования и многих других сфер. Появился термин информационно-коммуникационные технологии, а потом стало применяться и слово «инфокоммуникации» [2].

Такое качественное изменение коммуникации привело к изменению ее свойств, рассмотренных выше. Отмеченные ранее четыре базовых элемента в процессе обмена информацией сохраняются, однако существенным образом изменяются требования к ним:

- повышенная квалификация отправителя и получателя;
- специальная организация сообщения, оптимальная по содержанию и структуре, конфиденциально защищенная, гарантированная по достоверности, обязательно избирательная по адресу, помехоустойчивая;
- обязательное обеспечение каналом коммуникации с двусторонним действием для оценки реакции получателя, максимальная защищенность канала от помех (внутренних и внешних), исключение возможности внешнего доступа; такие требования к каналу означают высококвалифицированный подход к его созданию и повышенную квалификацию обслуживающего его персонала [3–5].

При рассмотрении коммуникаций внутри организации наблюдается изменение сущности коммуникации, с точки зрения действия, для взаимного соответствия информационных отношений субъектов на предприятии.

Библиография

1. Информационные и коммуникационные технологии в российской экономике: статистический сборник. М.: ГУ-ВШЭ, 2007. 296 с.
2. Карлова Т.В. Системные принципы объекта управления: социологический анализ: монография. М.: Янус – К, 2004. 220 с.
3. Шептунов С.А. Конструкторско-технологическая информатика – научный фундамент модернизации России // Известия КБГУ. 2012. Т. 2, № 4. С. 6–8.
4. Батыров У.Д., Шептунов С.А., Яхутлов М.М. Эффективная система научных исследований – важнейшая составляющая технологической среды вуза для подготовки инженерных кадров // Вестник Брянского государственного технического университета. 2014. № 3. С. 174–177.
5. Тхагапсоев Х.Г., Яхутлов М.М. Проблемы инженерного образования в современной России: методология анализа и пути решения // Высшее образование в России. 2014. № 8–9. С. 27–36.

СОЗДАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОСТУПНОСТИ ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ

*Шошина К.В., Гурьев А.Т., Карлова Т.В.

ИКТИ РАН

*kshoshina@gmail.com

В статье проведен анализ состояния информации о лесных ресурсах. Описана методика определения такого важного показателя, как эколого-экономическая доступность лесных ресурсов, которая зависит от состояния лесных дорог. Выделены признаки экологической доступности и построена концептуальная схема деления лесов на степени экологической доступности. Описаны преимущества использования снимков БПЛА (беспилотных летательных аппаратов) для решения проблем, связанных с точностью картографических материалов отдаленных лесных территорий.

Ключевые слова: лесные дороги, эколого-экономическая доступность лесных ресурсов, снимки БПЛА, геоинформационная система.

CREATING A METHODOLOGY FOR DETERMINING
THE AVAILABILITY OF FOREST RESOURCES

Shoshina K.V., Guriev A.T., Karlova T.V.

IDTI RAS

The article analyzes the state of forest resources information. A method for determining such an important figure as the ecological and economic availability of forest resources, which depends on the condition of forest roads. Marked signs of environmental accessibility and built a conceptual diagram of the division of forests on the degree of environmental accessibility. The advantages of using images of UAV (unmanned aerial vehicles) to solve problems with the accuracy of maps of remote forest areas.

Keywords: forest roads, ecological and economic availability of forest resources, UAV images, geographic information system.

Введение. Дороги в лесу – основа лесозаготовки. В настоящее время известны действующие дороги, их протяженность и состояние. Но, кроме них, есть более или менее густая сеть проездов, зимников, заброшенных магистралей и усов, расчистка и использование которых в значительной степени облегчают доступность лесов. Задачей лесозаготовки является отображение их на лесных картах и оценка состояния. Задача лесопользователей – принятие мер по приведению их в состояние, пригодное для транспортировки древесины или иных продуктов использования лесов, задача лесного хозяйства – дифференцированный подход к расчистке трасс или к их прорубке.

Современные материалы лесозаготовки позволяют сформировать лесные участки в соответствии с пространственным распределением ресурсов с учетом их характеристики. Районы децентрализованного эксплуатационного фонда, непригодные по экономическим и технологическим причинам (дорогостоящая транспортировка специальной техники) для крупных лесопользователей, могут быть распределены между мелкими лесопользователями или зарезервированы для нужд муниципального образования.

Низкая плотность лесных дорог с твердым покрытием не позволяет в полной мере проводить работы по лесному хозяйству, а также снижает объем лесозаготовки. Ожидать дополнительного финансирования для строительства новых дорог не приходится, поэтому актуальные материалы лесозаготовки могут иметь первостепенное значение для мониторинга состояния существующей сети лесных дорог и планирования оптимального размещения проездов и зимников.

Основой информационного обеспечения лесного сектора являются атрибутивные и картографические материалы лесозаготовки. На их основе ведется государственный лесной реестр, разрабатываются документы лесного планирования. Особую важность эти лесотаксационные данные приобретают при осуществлении технологического планирования лесозаготовительных и лесохозяйственных работ, которое включает их пространственное размещение, таксацию, разработку технологических карт выполнения лесных работ, контроль за их исполнением, материально-денежную оценку лесосек и др.

Методика определения доступности лесных ресурсов. Необходимость учета экологических затрат использования лесных ресурсов вызвана важным значением лесов, таких как срезобразующий фактор и негативное изменение состояния лесов, приведшие к ухудшению экологических изменений: уменьшение площади лесов; нежелательная смена пород; вырубка в горных лесах и бассейнах рек; заболачивание больших территорий; сокращение флоры и фауны в местах существования.

Группой ученых под руководством А.П. Петрова были выявлены экологические издержки, такие как затраты, необходимые для поддержания лесных экосистем в состоянии природного равновесия. Суммированием экономического эффекта и экологических издержек был установлен суммарный эколого-экономический эффект. Участки леса при отрица-

тельном результате считаются эколого-экономически недоступными. При организации ведения неистощимого лесопользования необходимо исключить из пользования экологически недоступные территории (рис. 1) [1].

Экологическая доступность лесных ресурсов проявляется в ограничении пользования ресурсом, которая вызвана возможностью нарушения естественных природных процессов.



Рис. 1. Эколого-экономическая доступность лесных ресурсов

По территориально-временным признакам экологическая доступность делится на [1–3] (рис. 2):

- полностью недоступные;
- временно недоступные;
- частично недоступные;
- доступные.

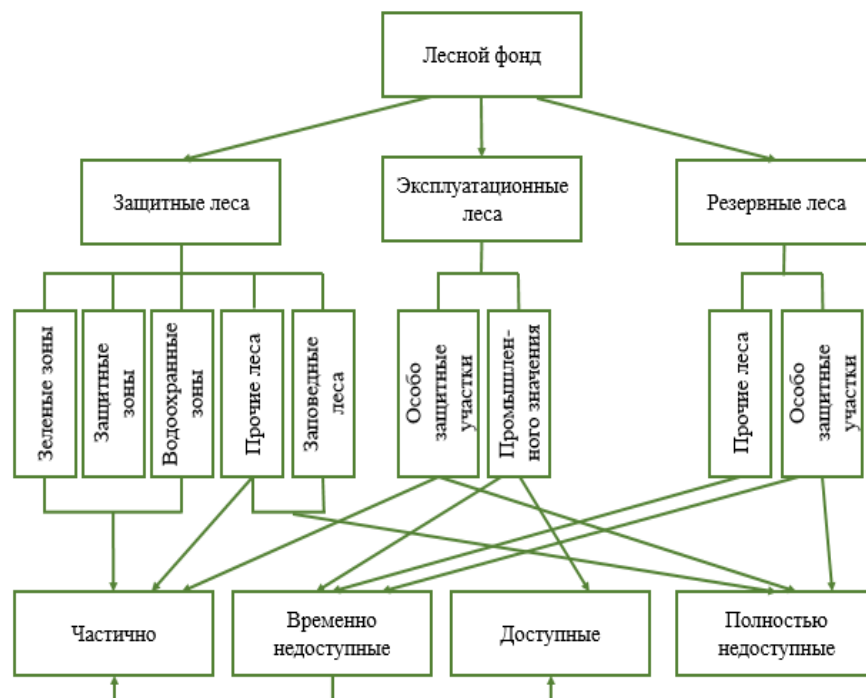


Рис. 2. Разделение лесов на степени экологической доступности [3]

После выделения экологически недоступных участков леса оставшаяся территория анализируется на экономическую доступность. Экономическая доступность лесных ресурсов может определяться различными методами. Наиболее известна расчетная оценка платы за ресурсы при их пользовании. Затраты на транспортировку лесоматериалов до потребителя зависят от реально существующей или необходимой для освоения лесосырьевой базы транспортной сети [2].

Затраты на транспортировку леса и строительство лесовозных дорог могут достигать более половины себестоимости заготовленной древесины (до 60 %) [3].

Основные проблемы лесопромышленного комплекса – это неразвитая сеть лесных дорог, текущее состояние которой не позволяет вести рациональное, постоянное и непрерывное лесопользование. Имеем замкнутый круг: неразвитость инфраструктуры дорожной сети приводит к низкому освоению расчетной лесосеки. Малые объемы лесопользования препятствуют развитию перерабатывающих производств, а их отсутствие лишает финансовой возможности инвестировать развитие сети лесных дорог [1].

Временно недоступные участки недоступны в определенный период времени (возраст древостоя, срок прироста лесосек). Частично недоступные участки лесного фонда с ограниченным их использованием (не разрешены сплошные рубки или некоторые виды несплошных рубок).

Для определения экономической доступности лесов необходимо учитывать изменения лесного фонда и размещение сети лесных дорог. Достоверность данной информации напрямую зависит от качества используемых картографических материалов. Одним из способов ее получения является аэрофотосъемка. Решить данную проблему можно с использованием технологии получения и обработки пространственных данных на основе снимков с БПЛА [2] ввиду высокой точности аэрофотосъемки (5–10 см/пиксель), оперативности ее получения и экономической эффективности.

Использование аэрофотосъемки. Большинство исследований в области дистанционного зондирования Земли проводятся на основе спутниковых снимков с максимальной разрешающей способностью 50 см на пиксель, что соответствует масштабу изображения 1 : 5 000. Это позволяет проводить попиксельное и текстурное дешифрирование, однако нельзя выделить отдельные объекты, например, аварийные участки дорог или кроны деревьев.

Аэрофотоснимки с большой высоты 5 000 : 7 000 м обладают лучшей разрешающей способностью, но, как и космические снимки, зависят от погодных условий, а значит, и недостаточно оперативны при проведении съемок.

Неоспоримым преимуществом обладают снимки с беспилотных летательных аппаратов, которые позволяют уже сейчас получать снимки с разрешающей способностью 1 : 5 см на пиксель, что соответствует масштабу 1 : 100 – 1 : 500.

По стоимости данный вид съемки ближе к детальной спутниковой съемке, но имеет ряд преимуществ, таких как отсутствие помех, связанных с облачностью, высокое разрешение, высокая оперативность съемки и др.

Новые методы получения данных требуют, соответственно, новых методов автоматизированной обработки полученной информации. Методы обработки аэроснимков с БПЛА будут значительно отличаться от методов обработки спутниковых снимков среднего и высокого разрешения, где используются преимущественно подходы, основанные на попиксельном анализе изображений [4, 5].

На снимке, полученном с БПЛА, различимы множество объектов, что позволяет перейти к объектно-ориентированному дешифрированию, а при использовании снимков, полученных в разное время года, исследовать структуру и структурную динамику отдельных объектов.

Формализация процесса тематического дешифрирования снимков БПЛА. Для формализованного описания объектов системы лесных дорог и их свойств воспользуемся теорией полихроматических множеств и графов, позволяющей описывать разнородные и разнообразные свойства объектов.

Свойства, характеризующие сеть лесных дорог, имеют следующий состав:

$$F(D) = (F(D^1_i), F(d^1_i), F(D^2_i), F(d^2_i), F(D^3_i), F(d^3_i), F(Z^{1,2,3}_i), F(z^{1,2,3}_i), F(DS), F(WD), F(E), F(OS), F(FR)).$$

Выделенные свойства характеризуют лесные дороги на разных уровнях иерархии и отражают различные его стороны. $F(D)$ – свойства, характеризующие сеть лесных дорог; $F(D^1_i)$ – свойства, характеризующие магистраль лесной дороги; $F(d^1_i)$ – свойства, характеризующие участок магистрали лесной дороги; $F(D^2_i)$ – свойства, характеризующие ветку лесной дороги; $F(d^2_i)$ – свойства, характеризующие участок ветки лесной дороги; $F(D^3_i)$ – свойства, характеризующие ус лесной дороги; $F(d^3_i)$ – свойства, характеризующие участок уса лесной дороги; $F(Z^{1,2,3}_i)$ – свойства, характеризующие зимник; $F(z^{1,2,3}_i)$ – свойства, характеризующие участок зимника; $F(DS)$ – свойства, характеризующие обочины лесных дорог; $F(WD)$ – свойства, характеризующие систему придорожной полосы; $F(E)$ – свойства, характеризующие систему объектов природной среды; $F(OS)$ – свойства, характеризующие объекты системы дорожных сооружений; $F(Q)$ – свойства, характеризующие лесные ресурсы.

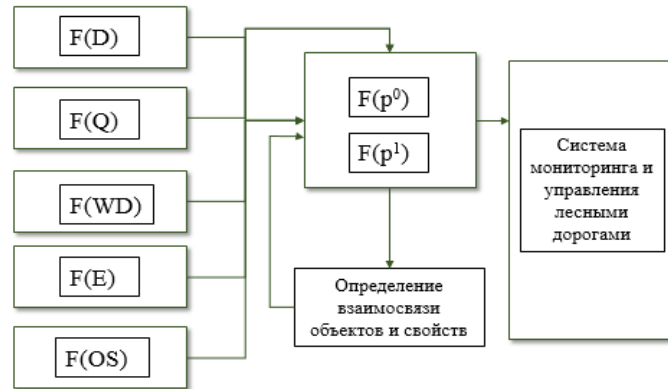


Рис. 3. Алгоритм тематической обработки аэрофотоснимков лесных дорог

Состав свойств объектов снимка характеризуется признаками изображения лесных дорог и признаками окружающей среды. Для формализации тематической обработки снимков БПЛА лесных территорий рассмотрим следующие обозначения элементов множества: p^0 – объект, p^1 – пиксель снимка.

На рис. 3 приведена последовательность связей и преобразования свойств объектов системы тематической обработки снимков БПЛА.

Исследования в этом направлении приоритетны и их новизна очевидна.

Заключение. Анализ исследований показал, что эффективность лесозаготовительных процессов во многом определяется состоянием сети лесных дорог, составляющая которых в себестоимости вывезенных лесоматериалов достигает 60 %. Для успешного управления системой лесных дорог необходимо использовать технологии оперативного получения информации об их состоянии. Повышение точности и оперативности выполнения работ по инвентаризации лесов позволит правильно решать задачи по развитию системы лесных дорог.

Изучение отечественных и зарубежных публикаций показывает, что проблема повышения качества и эффективности функционирования и модернизации процессов лесной отрасли остается актуальной. Подводя итог, можно сказать, что предприятия лесной отрасли нуждаются в геоинформационной системе, автоматизирующих и объединяющей задачи, возникающие перед специалистами во время проведения лесоустроительных работ.

Такая прикладная геоинформационная система ИитГИС для лесной отрасли разработана коллективом ООО «Инновационный научно-производственный центр «ИИТ», которая выполняет задачи обработки и хранения картографических и атрибутивных материалов, обеспечивает возможность обновления данных с помощью космо- и аэрофотоснимков, предоставляет доступ к организованной структуре хранения сведений атрибутивных данных и предоставляет инженеру удобный интерфейс обработки как векторных данных, так и атрибутивной информации [2, 4, 5].

Библиография

1. Мохирев А.П., Болотов О.В. Проектирование сети лесных дорог на примере предприятий Красноярского края: монография. Красноярск: СибГТУ, 2010. 178 с.
2. Гурьев А.Т., Шошина К.В. Структурное моделирование лесных дорог: монография. Архангельск: САФУ, 2015. 139 с.
3. Мохирев А.П., Егармин П.А. Географическая информационная система планирования оптимального освоения лесного фонда // Системы. Методы. Технологии. Братск: БГУ, 2011. № 4 (12). С. 172–177.
4. Гурьев А.Т., Алешко Р.А., Торхов С.В., Трубин Д.В. Тематическая обработка спутниковых снимков лесных территорий на основе структурных моделей: монография. Архангельск: САФУ, 2013. 164 с.
5. Алешко Р.А., Гурьев А.Т., Шошина К.В., Щеников В.С. Разработка методики визуализации и обработки геопространственных данных // Научная визуализация. 2015. Т. 7, № 1. С. 20–29.

АНАЛИЗ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЛЕСНЫХ ДОРОГ

Гурьев А.Т.¹, *Шошина К.В.¹, Бекмешев А.Ю.²¹Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова²ИКИ РАН

*kshoshina@gmail.com

В статье проведен анализ жизненного цикла (ЖЦ) лесных дорог как сложной системы, который основан на работах по жизненному циклу автомобильных дорог. Выделены особенности ЖЦ автомобильных и лесных дорог. Статья содержит подходы к анализу и синтезу лесных дорог на основе структурного моделирования.

Ключевые слова: CALS, ЖЦ автомобильных дорог, особенности ЖЦ лесных дорог, структурное моделирование.

THE LIFE CYCLE ANALYSIS OF FOREST ROADS

Guriev A.T.¹, Shoshina K.V.¹, Bekmeshov A.Yu.²¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov²IDTI RAS

The article analyzes the life cycle (LC) of forest roads as a complex system, which is based on the life cycle of works on roads. The features of LC road and forest roads. This article contains approaches to the analysis and synthesis of forest roads on the basis of structural modeling.

Keywords: CALS, LC roads, especially LC forest roads, structural modeling.

Введение. CALS (Continuous Acquisition and Lifecycle Support) – концепция и идеология информационной поддержки жизненного цикла (ЖЦ) продукции на всех его стадиях основана на использовании единого информационного пространства (интегрированной информационной среды), обеспечивает единообразные способы взаимодействия всех участников этого цикла – заказчиков (включая государственные учреждения и ведомства), поставщиков (производителей) продукции, эксплуатационного и ремонтного персонала, реализован в форме международных стандартов, регламентирующих правила указанного взаимодействия преимущественно посредством электронного обмена данными [1].

Целью применения CALS как концепции организации и информационной поддержки деятельности предприятий является повышение эффективности процессов разработки, производства, эксплуатации за счет ускорения процессов исследования и разработки продукции, придания новых свойств и повышения уровня сервиса в процессах эксплуатации и технического обслуживания.

Основные задачи CALS [1–3]:

- структурирование и моделирование данных о процессах;
- обеспечение эффективного управления и обмен данными между всеми участниками ЖЦ изделий;
- создание и сопровождение документации, необходимой для поддержки всех этапов жизненного цикла всех изделий.

Основными проблемами, мешающими эффективному управлению данными об изделии, являются большой объем информации и коммуникационные барьеры между участниками ЖЦ.

Основной путь решения этих проблем – создание единого информационного пространства для всех участников ЖЦ изделий.

Жизненный цикл сложных изделий. Основные этапы жизненного цикла объекта производства в конкретной производственной системе при максимальном абстрагировании описываются графом вида (рис. 1) [2, 3].

Вершины графа соответствуют следующим этапам жизненного цикла: А – этап планирования, на котором определяются возможные или требуемые тактико-технические характеристики объекта; D – этап конструирования объекта; P – этап собственно производства; C – этап эксплуатации объекта производства; R – этап утилизации отходов производства и других этапов жизненного цикла объекта.

Материальные потоки в модели показаны дугами графа – сплошными стрелками, а информационные связи – пунктирными ребрами графа, поскольку информационные потоки при решении различных задач циркулируют в разных направлениях [2].

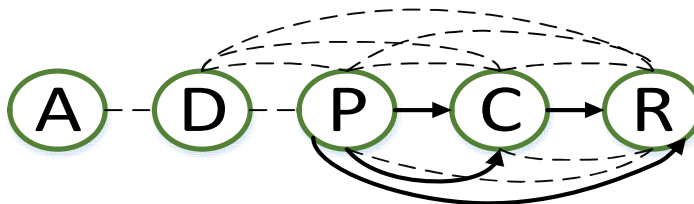


Рис. 1. Жизненный цикл сложных изделий

Структура системы, охватывающей взаимосвязанные производственные системы различного назначения, при максимальном абстрагировании описывается гиперграфом, ребра которого связывают вершины, описывающие входящие в систему производственные системы. Межсистемные информационные и материальные связи между входящими системами описываются как ребра и дуги обычных графов, соединяющие вершины – этапы жизненного цикла объектов производства в различных производственных системах.

Автомобильные дороги как сложные системы необходимо исследовать на основе технологий жизненного цикла сложных изделий.

Жизненный цикл автомобильных дорог. Исследования ЖЦ лесных дорог основываются на работах по ЖЦ автомобильных дорог. В трудах томских ученых Скворцова А.В., Поспелова П.И., Крысина С.П. [4, 5] впервые рассмотрены вопросы использования технологий ЖЦ сложных изделий применительно к автомобильным дорогам. Анализируя материал данной работы, можно выделить основные этапы жизненного цикла дорог: А – планирование развития, D – проектирование, P – строительство, C – эксплуатация, R – вывод из эксплуатации. Соответственно, жизненный цикл автомобильных дорог можно представить следующим образом (рис. 2).

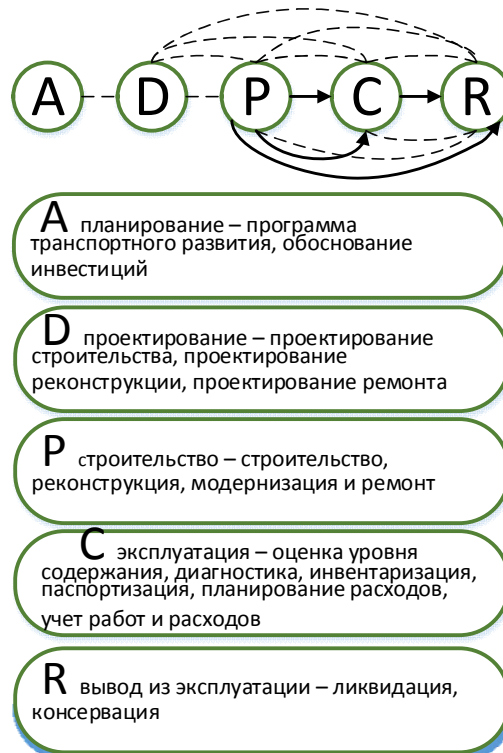


Рис. 2. Жизненный цикл автомобильных дорог

Созданию дороги предшествуют действия по изысканиям и проектированию дороги. После проектирования следует этап физического воплощения проекта – строительство. Как правило, это длительный этап, совмещенный с эксплуатацией уже построенных частей дороги.

Следующим этапом является эксплуатация, то есть процесс обслуживания дороги в соответствии с задачами по ее содержанию. В процессе эксплуатации автомобильной дороги может возникнуть необходимость в ремонте или реконструкции в зависимости от технического состояния.

В процессе эксплуатации дорог перед системой управления встает целый ряд задач: задачи инвентаризации, паспортизации и учета. Данный класс задач является базовым в управлении дорожными сетями. Обобщая различные подходы к инвентаризации, можно выделить следующие характерные черты. Во-первых, целью инвентаризации является точное определение наличия объектов, участков дороги; их уникальная идентификация. Другой целью инвентаризации является выяснение состояния объектов. Инвентаризация – непрерывный процесс, происходящий при вводе в строй новых объектов и участков, обследовании эксплуатируемых и ликвидации старых. Этот процесс тесно связан с паспортизацией дороги и ее объектов.

Задачи моделирования жизненного цикла дороги можно разделить на три основных вида:

- 1) задачи моделирования технического состояния дороги, объектов и событий во времени,
- 2) задачи отслеживания характеристик во времени,
- 3) задачи отслеживания конфигурации сети во времени.

Особенности жизненного цикла автомобильных дорог. Жизненный цикл автомобильных дорог обладает следующими особенностями (рис. 3):

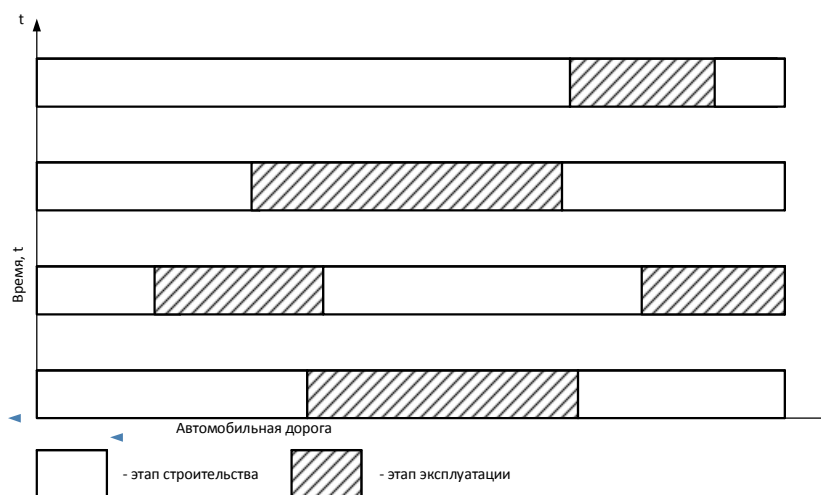


Рис. 3. Особенности жизненного цикла дороги – совпадение этапов строительства и эксплуатации для отдельных участков дороги

1. При создании дороги этапы строительства и эксплуатации для отдельных участков дороги могут совпадать.
2. При длительной эксплуатации этапы ремонта и эксплуатации для отдельных участков дороги могут совпадать.
3. Одной из основных особенностей жизненного цикла дорог является то, что каждую подсистему, образующую сеть лесных дорог, можно рассматривать как отдельную систему с собственным жизненным циклом. Так, например, частью лесных дорог являются мосты, водоотводы и прочие элементы дорог, жизненный цикл которых подлежит отдельному структурному анализу.
4. Еще одной особенностью является смена свойств отдельных участков дороги на разных этапах жизненного цикла в зависимости от разных причин (количество осадков, время года, интенсивность движения транспорта и пр.).
5. К особенностям жизненного цикла лесных дорог относится выделение отдельного этапа – консервации дороги (рис. 4). Это связано с неравномерностью эксплуатации лесных дорог во времени.

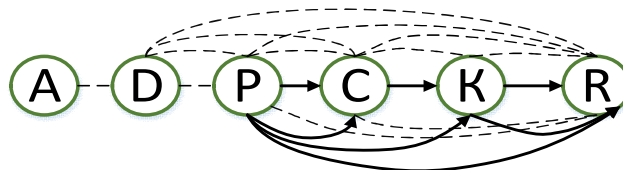


Рис. 4. Особенности жизненного цикла лесной дороги

Этапы жизненного цикла лесной дороги: А – этап планирования лесной дороги; D – этап проектирования дороги; Р – этап строительства дороги; С – этап эксплуатации дороги; К – этап консервации дороги; R – этап вывода из эксплуатации дороги.

Анализируя жизненный цикл лесных дорог, для повышения их эффективности необходимо провести структурное исследование лесных дорог.

Заключение. Реализация современных подходов повышения эффективности эксплуатации и строительства лесных дорог предполагает проведение анализа всех этапов жизненного цикла. Необходимо разработать математические модели процессов отдельных этапов жизненного цикла лесных дорог для решения задач повышения эффективности их использования.

Для разработки моделей требуется современный математический аппарат, позволяющий создать модели процессов проектирования, строительства и эксплуатации лесных дорог. В качестве такого аппарата предлагается применить теорию структурного моделирования [2].

Библиография

1. Российская энциклопедия CALS. Авиационно-космическое машиностроение / гл. ред. А.Г. Братухин. М.: НИЦ АСК, 2008. 608 с.
2. Павлов В.В. Структурное моделирование в CALS-технологиях / отв. ред. Ю.М. Соломенцев. М.: Наука, 2006. 307 с.
3. Павлов В.В., Гурьев А.Т., Деменков М.Е., Деменкова Е.А. Повышение эффективности эксплуатации технологических машин лесного комплекса: монография. Архангельск: САФУ, 2012. 138 с.
4. Скворцов А.В., Поспелов П.И., Крысин С.П. Геоинформатика в дорожной отрасли (на примере IndorGIS). М.: МАДИ, 2005. 389 с.
5. Сарычев Д.С., Скворцов А.В. Применение ГИС в дорожной отрасли // Актуальные проблемы повышения надежности и долговечности автомобильных дорог и искусственных сооружений на них: сб. трудов всерос. науч.-практич. конф. Барнаул: АлтГТУ, 2003. С. 17–19.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ НА КАЧЕСТВО БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Эльбаев Р.А.¹, Колмыков В.И.¹, *Эльбаева Р.И.²

¹Юго-западный государственный университет

²Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова

*itf@kbsu.ru

Исследовано влияние режимов нагрева и частоты вращения заготовки на структуру залитого антифрикционного слоя биметалла и выбраны оптимальные значения режимов при изготовлении биметаллических подшипников скольжения сталь-бронза центробежным способом с нагревом токами высокой частоты. Исследования проведены методом послойного химического анализа с обработкой результатов в программе Statistica.

Ключевые слова: биметалл, сталь, бронза, режимы нагрева, частота вращения, ликвация, микроструктура, химический анализ.

THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL MODES ON THE QUALITY OF BIMETALLIC BEARINGS

Elbaev R.A.¹, Kolmykov V.I.¹, Elbaeva R.I.²

¹Southwest State University

²Kabardino-Balkarian State University

The influence of heat and rotation frequency investigated by filling the structure layer anti-friction bimetal and selected the optimal values of modes in the manufacture of bimetallic bearings steel-bronze centrifugal method with high frequency heating. Researchers conducted by the layer-by-layer chemical analysis using results processing program Statistica.

Keywords: bimetal, steel, bronze, heating modes, rotation frequency, liquation, microstructure, chemical analysis.

Биметаллические подшипники скольжения с плакирующим слоем цветного сплава обеспечивают в узлах трения высокий уровень антифрикционных свойств за счет сочетания различных физико-механических показателей составляющих слоев. Требования к биметаллическим подшипникам скольжения общего применения, которые изготавливают заливкой антифрикционными сплавами, установлены в соответствии со стандартами [1]. Наиболее производительными и экономичными являются центробежные процессы получения биметаллических деталей с расплавлением цветного сплава внутри заготовки-основы при нагреве токами высокой частоты (ТВЧ).

Технологический процесс осуществляется следующим образом. Стружка бронзы смешивается с флюсом, засыпается внутрь стальной заготовки-основы, которая закрывается с обоих торцов крышками для герметизации и центрирования, вводится в индуктор генератора ТВЧ и закрепляется между центрами установки для биметаллизации. При включении системы вращения установки и генератора ТВЧ происходит расплавление металла внутри заготовки и формирование внутреннего слоя отливки за счет центробежных сил. В процессе изготовления биметалла необходимо обеспечить равномерный нагрев и полное расплавление цветного сплава внутри заготовки-основы с достижением требуемой жидкотекучести, высокую прочность связи между слоями, минимальную ликвацию компонентов в залитом слое [2].

В данной работе поставлена цель – исследовать влияние технологических факторов на качество залитого антифрикционного слоя и выбрать оптимальные значения режимов при изготовлении биметаллических подшипников скольжения сталь-бронза центробежным способом с нагревом токами высокой частоты.

Разработана конструкция центробежной установки для биметаллизации, позволяющая осуществить бесступенчатое регулирование частоты вращения шпинделя в пределах от 350 до 2200 мин⁻¹ [3]. Для исследования были изготовлены образцы биметаллических втулок с наружным диаметром 46±0,5 мм, внутренним диаметром 40±0,5 мм, длиной заготовки 60±1,0 мм, толщиной заливаемого слоя от 1,5 до 3 мм. В качестве заготовки-основы использовалась углеродистая сталь Ст. 3 по ГОСТ 380-2005, в качестве антифрикционного выбрана бронза Бр. О5Ц5С5 по ГОСТ 613-85, имеющая состав, мас. %: Sn=4,7; Zn=4,8; Pb=5,0; Cu=84,6; Fe=0,4; Al=0,05; Si=0,05. Температура плавления бронзы 1000 °С, температура литья 1140–1180 °С. Бронза имеет хорошие антифрикционные и технологические свойства, широко используется для подшипников скольжения. В качестве флюса выбрана смесь буры (Na₂B₄O₇) и угольного порошка в количестве 2 % от массы стружки. Для нагрева был изготовлен пятывитковый индуктор из медного проводника диаметром 12 мм, который подключается к генератору ТВЧ и охлаждается водой. При выполнении работы использовался генератор ЛПЗ – 67 с рабочей частотой тока 60–74 кГц.

На качество залитого слоя оказывают непосредственное влияние температура и время нагрева, скорость вращения заготовки, нестабильность и неоднородность химического состава сплава после нагрева: угар элементов, увеличение содержания железа в залитом слое, ликвация элементов [4].

При нагреве индукционным током до 90 % количество теплоты выделяется в поверхностном слое металла, происходит быстрый нагрев наружной поверхности заготовки на незначительную глубину проникновения тока в металл, а дальнейшая передача тепла осуществляется за счет теплопроводности металла. Поэтому важное значение при изготовлении биметаллических заготовок имеет контроль режимов нагрева, так как температура и время нагрева внутренней поверхности заготовки должны быть достаточны для полного расплавления стружки и получения требуемой жидкотекучести цветного сплава, а температура нагрева наружной поверхности заготовки не должна превышать заданных пределов, чтобы избежать оплавления. При изготовлении биметаллических заготовок сталь Ст.3 – бронза Бр. О5Ц5С5 температура нагрева внутренней поверхности заготовки должна составлять 1180 ± 10 °С при температуре нагрева наружной поверхности 1250 ± 10 °С [5]. Регулируя анодное напряжение и анодный ток генератора ТВЧ, устанавливают требуемый уровень удельной мощности, приходящейся на единицу поверхности заготовки или единицу объема металлической части заготовки.

Взаимосвязь объемной удельной мощности и времени нагрева наружной поверхности заготовки до температуры 1240 °С показана на рис. 1.

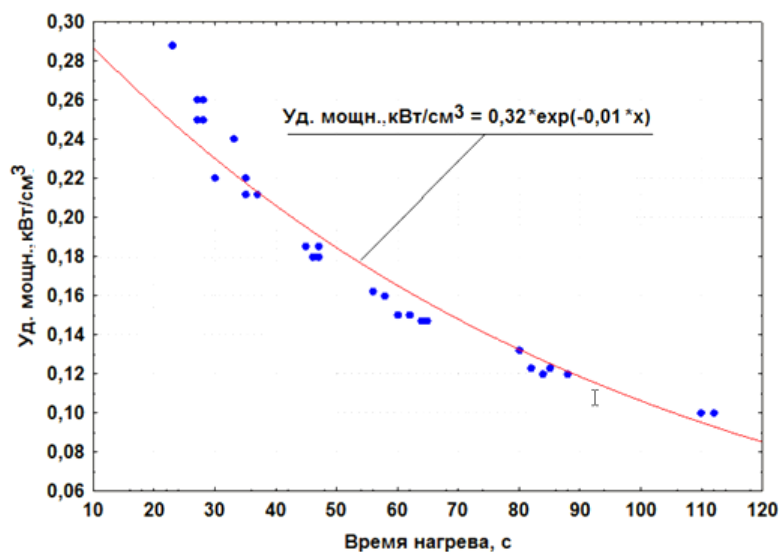


Рис. 1. Взаимосвязь объемной удельной мощности и времени нагрева наружной поверхности заготовки до температуры 1240 °С

Снижение удельной мощности нагрева требует увеличения продолжительности нагрева до заданной температуры. Однако при высокой температуре нагрева и контакте стали с жидкой бронзой происходит растворение железа в бронзовом слое, что приводит к ухудшению антифрикционных качеств залитого слоя.

Для определения содержания компонентов залитого слоя по глубине в зависимости от режимов технологического процесса был проведен послойный химический анализ, для которого снималась стружка бронзового слоя последовательными слоями при глубине резания 0,25 мм. Распределения железа в зависимости от времени нагрева и шероховатости внутренней поверхности стальной заготовки представлены в таблице.

Таблица

Распределение железа по глубине залитого слоя

Расстояние от зоны соединения слоев, мм	Время нагрева 180 с		Время нагрева 90 с		Время нагрева 30 с	
	Rz=70 мкм	Rz=10 мкм	Rz=70 мкм	Rz=10 мкм	Rz=70 мкм	Rz=10 мкм
0,25	1,75	1,35	1,4	1,12	1,25	0,9
0,5	1,75	1,32	1,38	1,09	1,22	0,85
0,75	1,74	1,3	1,35	1,03	1,2	0,8
1	1,68	1,28	1,33	0,98	1,6	0,75
1,25	1,65	1,22	1,3	0,92	1,15	0,7
1,5	1,62	1,2	1,27	0,88	1,12	0,65

Увеличение времени нагрева и шероховатости стальной поверхности приводит к значительному повышению содержания железа в слое бронзы и снижению качества залитого слоя. Однако, как было показано в предыдущих исследованиях [6], очень быстрый нагрев может привести к неполному расплавлению стружки внутри заготовки, поэтому при выборе режимов технологического процесса оптимальными значениями можно считать шероховатость поверхности Rz=10–20 мкм и время нагрева 80–90 с, при котором удельная мощность нагрева составляет 0,12–0,14 кВт/см³.

Методом послойного химического анализа определяли также ликвацию свинца по толщине слоя бронзы в зависимости от частоты вращения заготовки. Результаты представлены на рис. 2.

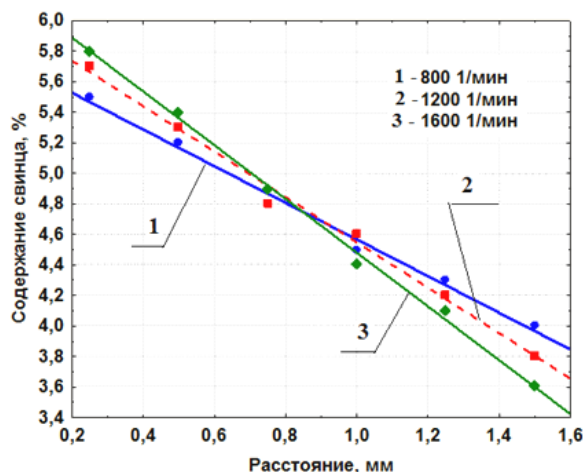


Рис. 2. Ликвация свинца по толщине залитого слоя бронзы

Анализ показывает, что при частоте вращения заготовки в пределах 800–1600 1/мин ликвация свинца составляет не более 10–15 % для толщины залитого слоя бронзы после обработки 0,8–1,2 мм. Микроструктура биметалла сталь Ст3 – бронза Бр. О5Ц5С5 представлена на рис. 3. Травление стали – 5-м % раствором азотной кислоты в спирте; бронза не травлена, черные точки – включения свинца.

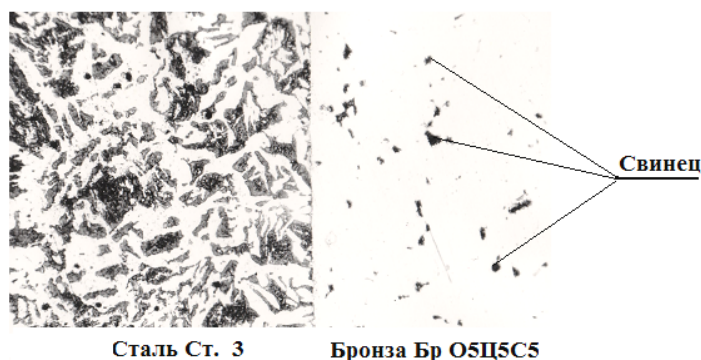


Рис. 3. Микроструктура биметалла сталь Ст3 – бронза Бр. О5Ц5С5 , x200

Расположение включений свинца на участке бронзового слоя подтверждают вывод о незначительной его ликвации.

Заключение. Проведенные исследования позволили устанавливать уровень оптимальных технологических режимов для получения прочного соединения слоёв и качественного залитого слоя высокой плотности без пор и раковин: шероховатость внутренней поверхности заготовки $Rz=10-20$ мкм, время нагрева 80–90 с, удельная мощность нагрева $0,12-0,14$ кВт/см³, рекомендуемая линейная скорость вращения заготовки 2–3 м/с при частоте вращения 1200–1600 1/мин.

Библиография

1. ГОСТ 24832-81; ГОСТ ИСО 4379-2006. Втулки биметаллические и вкладыши толстостенные биметаллические подшипников скольжения. Типы и основные размеры.
2. Эльбаева Р.И. Биметаллические подшипники // Машиностроитель. 1978. № 1. С. 22–23.
3. Эльбаева Р.И., Пархоменко В.В., Шляхов А.А. Установка для изготовления биметаллических втулок центробежным способом с нагревом токами высокой частоты // Наука, техника и технология XXI века (НТТ-2007): материалы III Международной научно-технич. конференции. Т. 1. Нальчик КБГУ, 2007. С. 83–89.
4. Эльбаева Р.И. Выбор оптимальных технологических режимов при изготовлении биметаллических заготовок // Вестник КБГУ. Серия «Технические науки». 2008. Вып. 6. С. 53–56.
5. Эльбаева Р.И., Эльбаев Р.А. Повышение технико-экономических показателей производства биметаллических втулок // Качество. Инновации. Образование. 2015. Т. II, № 5. С. 442–447.
6. Эльбаева Р.И., Эльбаев Р.А. Исследование технологии изготовления биметаллических подшипников сталь-бронза // Известия КБГУ. 2015. Т. 5, № 1. С. 24–30.

УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЛИМЕРНОГО СТЕРЖНЯ ПРИ ПОЛЗУЧЕСТИ С УЧЕТОМ ДИСКРЕТНОГО СПЕКТРА ВРЕМЕН РЕЛАКСАЦИИ ПОЛИМЕРА

*Дудник А.Е., Никора Н.И., Чепурненко А.С., Языев С.Б.

Ростовский государственный строительный университет

*nasty777@bk.ru

Получены разрешающие уравнения метода Бубнова–Галеркина для анализа устойчивости при ползучести полимерного стержня с учетом двух составляющих спектра времен релаксации полимера. В качестве уравнения связи между напряжениями и высокоэластическими деформациями применяется нелинейный закон Максвелла–Гуревича. Представленные уравнения позволяют также рассчитывать стержни переменной жесткости.

Ключевые слова: нелинейная ползучесть, вязкоупругость, стержень, устойчивость, уравнение Максвелла–Гуревича, метод Бубнова–Галеркина, релаксационная вязкость, вязкоупругость, модуль высокоэластичности, спектр времен релаксации.

THE STABILITY OF THE POLYMER ROD DURING CREEP TAKING INTO ACCOUNT THE DISCRETE SPECTRUM OF RELAXATION TIMES OF THE POLYMER

Dudnik A.E., Nikora N.I., Chepurnenko A.S., Yziev S.B.

Rostov State University of Civil Engineering

The resolving equations of the Bubnov-Galerkin method to analyze the stability during creep of a polymer rod with two components of the spectrum of relaxation times of the polymer. As the coupling equations between stresses and deformations is applied highly elastic nonlinear law of Maxwell-Gurevich. The equations also allow to count the rods of variable rigidity.

Keywords: non-linear creep, viscoelasticity, rod, stability, equation of Maxwell–Gurevich, Bubnov–Galerkin method, relaxing the viscosity, viscoelasticity, modulus of viscoelasticity, spectrum of relaxation times.

Рассмотрим стержень, сжатый силой F , опертый по концам шарнирно и имеющий начальное искривление $v_0 = f_0 \sin \frac{\pi x}{l}$ в плоскости наименьшей жесткости (рис. 1).

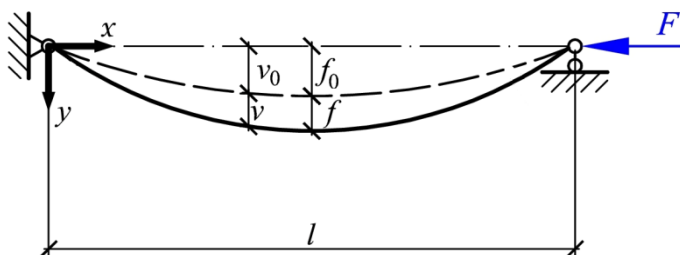


Рис. 1. Расчетная схема

Задача устойчивости шарнирно опертого стержня при ползучести сводится к дифференциальному уравнению второго порядка относительно прогиба [1, 2]:

$$\frac{d^2 v}{dx^2} + \frac{Fv}{EI} + \frac{Fv_0}{EI} + \frac{1}{I} \int_A \varepsilon^* y dA = 0. \quad (1)$$

При этом модуль упругости E и момент инерции сечения I могут быть функциями от x . Применим к решению уравнения (1) метод Бубнова–Галеркина. В качестве функции, аппроксимирующей прогиб, примем следующий тригонометрический ряд, удовлетворяющий граничным условиям:

$$v(x) = \sum_{i=1}^n a_i \sin \frac{\pi x i}{l}. \quad (2)$$

Производные функции прогиба запишутся в виде:

$$\frac{dv}{dx} = \sum_{i=1}^n \frac{\pi i}{l} a_i \cos \frac{\pi x i}{l}, \quad \frac{d^2 v}{dx^2} = - \sum_{i=1}^n \left(\frac{\pi i}{l} \right)^2 a_i \sin \frac{\pi x i}{l}. \quad (3)$$

Подставив (2) и (3) в (1), получим невязку:

$$\delta(x) = -\sum_{i=1}^n \left(\frac{\pi i}{l}\right)^2 a_i \sin \frac{\pi x i}{l} + \frac{F}{EI} \sum_{i=1}^n a_i \sin \frac{\pi x i}{l} + \frac{F f_0}{EI} \sin \frac{\pi x}{l} + \frac{1}{l} \int_A \varepsilon^* y dA. \quad (4)$$

Условие ортогональности невязки к базисным функциям имеет вид:

$$\int_0^l \delta(x) \sin \frac{\pi x k}{l} dx = 0, \quad k = 1 \dots n. \quad (5)$$

Задача сводится к системе линейных алгебраических уравнений, которая имеет вид:

$$[B] \cdot \{X\} = \{C\}, \quad (6)$$

где $\{X\} = \{a_1 \ a_2 \ \dots \ a_n\}^T$ – вектор неизвестных членов ряда,

$$[B] = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix}, \quad \{C\} = \{c_1 \ c_2 \ \dots \ c_n\}^T.$$

Коэффициенты матрицы B и вектора C определяются следующим образом:

$$b_{ik} = -\left(\frac{\pi i}{l}\right)^2 \int_0^l \sin \frac{\pi x i}{l} \sin \frac{\pi x k}{l} dx + F \int_0^l \frac{1}{E(x)I(x)} \sin \frac{\pi x i}{l} \sin \frac{\pi x k}{l} dx;$$

$$c_k = -\int_0^l \frac{1}{I(x)} \sin \frac{\pi x k}{l} \int_A \varepsilon^* y dA dx - F f_0 \int_0^l \frac{1}{E(x)I(x)} \sin \frac{\pi x}{l} \sin \frac{\pi x k}{l} dx. \quad (7)$$

Интегралы от тригонометрических функций в (7) обладают следующим свойством:

$$\int_0^l \sin \frac{\pi x i}{l} \sin \frac{\pi x k}{l} dx = \begin{cases} l/2, & \text{если } i = k \\ 0, & \text{если } i \neq k. \end{cases} \quad (8)$$

Таким образом, в случае постоянной жесткости стержня, ненулевыми оказываются коэффициенты только на главной диагонали, и можно найти неизвестные члены ряда, не решая систему уравнений ($a_k = c_k / b_k$).

В механике полимеров высокоэластическая деформация ε^* представляется в виде суммы составляющих спектра времен релаксации:

$$\varepsilon^* = \sum \varepsilon_{xs}^*.$$

Уравнение Максвелла–Гуревича для составляющих спектра имеет вид:

$$\frac{\partial \varepsilon_{xs}^*}{\partial t} = \frac{f_s^*}{\eta_s^*},$$

где f_s^* – функция напряжений, η_s^* – коэффициент релаксационной вязкости.

$$f_s^* = \sigma - E_{\infty s} \varepsilon_s^*, \quad \frac{1}{\eta_s^*} = \frac{1}{\eta_{0s}^*} e^{\left| \frac{f_s^*}{m^*} \right|}, \quad \eta_{0s}^* - \text{начальная релаксационная вязкость; } E_{\infty s} - \text{модуль высокоэластичности; } m^* -$$

модуль скорости.

В ряде работ [1, 3–7] авторы при решении задач устойчивости с учетом ползучести используют только «старший» член спектра. Это объясняется тем, что потеря устойчивости происходит за относительно небольшое время. Представляет интерес вклад «младшей» составляющей ε_2^* при выпучивании стержня. Была решена модельная задача для стержня из полиэтилена высокой плотности (ПВП). Данные для расчета с учетом одного и двух спектров представлены в таблице [8–10].

Таблица

Упругие и релаксационные параметры ПВП

E , МПа	m^* , МПа	Расчет с одним членом спектра времен релаксации		Расчет с двумя членами спектра времен релаксации			
		E_{∞} , МПа	$\eta_{0,1}^*$, МПа·с	$E_{\infty,1}$, МПа	$E_{\infty,2}$, МПа	$\eta_{0,1}^*$, МПа·с	$\eta_{0,2}^*$, МПа·с
750	1.89	171.6	$9.7 \cdot 10^7$	900	285	$1.3 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^8$

Сечение стержня квадратное 10×10 мм, длина $l = 157$ мм, начальная погибь $f_0 = 0.16$ мм. На рис. 2 представлен график роста стрелы прогиба при $F = 50$ Н. Штриховой линии соответствует решение с учетом одного спектра времен релаксации, сплошной линии – с учетом двух спектров.

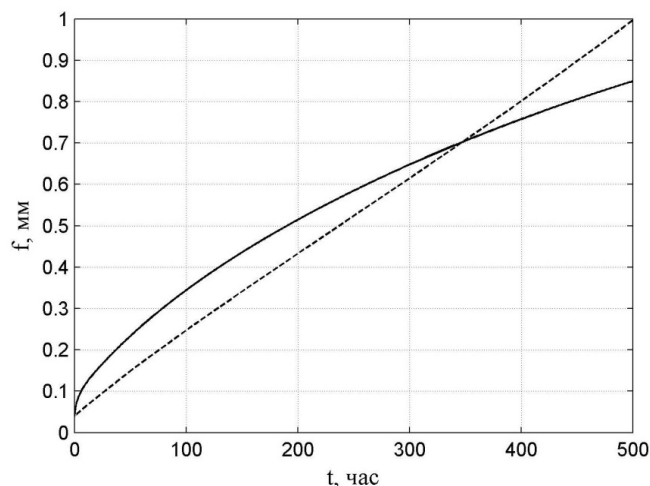


Рис. 2. Графики роста стрелы прогиба

Из представленных графиков видно, что характер кривых роста прогиба существенно отличается: при учете только одного спектра прогиб растет с постоянной скоростью, а с учетом двух спектров скорость роста стрелы прогиба затухает. Таким образом, расчет на устойчивость полимерных стержней необходимо вести с учетом как минимум двух спектров времен релаксации полимера.

Библиография

1. Литвинов С.В., Клименко Е.С., Кулинич И.И. Расчет на устойчивость стержней из ЭДТ-10 при различных вариантах закрепления // Инженерный Вестник Дона: электронный журнал. № 2. 2011 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/latest/n2y2011/415>.
2. Белоус П.А. Устойчивость полимерного стержня при ползучести с учетом начальной кривизны // Труды Одесского политехнического института. 2001. № 2. С. 43–46.
3. Козельская М.Ю., Чепурненко А.С., Литвинов С.В. Применение метода Галёркина при расчете на устойчивость сжатых стержней с учетом ползучести // Инженерный вестник Дона. 2013. № 2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1714>.
4. Andreev V.I., Chepurnenko A.S., Yazyev B.M. Energy method in the calculation stability of compressed polymer rods considering creep // Advanced Materials Research. 2014. V. 1004–1005. P. 257–260.
5. Литвинов С.В., Клименко Е.С., Кулинич И.И., Языева С.Б. Устойчивость полимерных стержней при различных вариантах закрепления // Вестник МГСУ. 2011. Т. 2, № 2. С. 153–157.
6. Клименко Е.С., Аминев Е.Х., Литвинов С.В., Языев С.Б., Кулинич И.И. Устойчивость сжатых неоднородных стержней с учетом физической нелинейности материала: монография. Ростов-на-Дону: Рост. гос. строит. ун-т, 2012. 77 с.
7. Кулинич И.И., Клименко Е.С., Языев С.Б., Литвинов С.В. Продольный изгиб полимерного стержня с учетом начальных несовершенств // Строительство-2011: материалы Международной научно-практической конференции. Ростов-на-Дону: РГСУ, 2011. С. 159–161.
8. Чепурненко А.С., Андреев В.И., Языев Б.М. Энергетический метод при расчете на устойчивость сжатых стержней с учетом ползучести // Вестник МГСУ. 2013. № 1. С. 101–108.
9. Andreev V.I., Yazyev B.M., Chepurnenko A.S. On the bending of a thin plate at nonlinear creep // Advanced Materials Research. 2014. V. 900. P. 707–710.
10. Гольдман А.Я. Прочность конструкционных пластмасс. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. 320 с.

Требования к оформлению научной статьи, представляемой в журнал «Известия Кабардино-Балкарского государственного университета»

Для публикации в журнале «Известия Кабардино-Балкарского государственного университета» принимаются статьи на русском или английском языках, содержащие результаты актуальных фундаментальных и прикладных исследований, передовых наукоемких технологий, научных и научно-методических работ.

1. Основные документы, необходимые для публикации

1.1. Один экземпляр статьи в бумажном виде и на электронном носителе отдельным файлом (на диске); на наклейке диска (дискеты) (обязательно!) указываются фамилия автора (авторов) и название статьи.

1.2. Полные сведения об авторе (авторах) на русском и английском языках в бумажном виде и в электронном варианте, оформленном отдельным от статьи файлом, который включает в себя следующие данные:

- фамилия, имя, отчество (полностью) каждого автора;
- место работы (наименование организации), ученая степень, ученое звание, должность каждого автора;
- контактные телефоны, почтовый индекс и адрес, адрес электронной почты (e-mail) каждого автора.

1.3. Сопроводительное письмо на бланке учреждения, где выполнена работа.

1.4. Внешняя рецензия доктора наук (по желанию).

1.5. Акт экспертизы о возможности опубликования в открытой печати – для физико-математических, химических, биологических, технических, экономических наук и науки о земле.

1.6. Справка об учебе в аспирантуре или докторантуре для аспирантов и докторантов.

1.7. «Лицензионный договор» (один на авторский коллектив) в 2-х экз. Без Договора статья не будет опубликована. Текст Договора размещен на сайте журнала «Известия КБГУ».

2. Правила оформления статьи

2.1. Объем статьи – в пределах 15 страниц формата А4, интервал – 1,5, размер шрифта Times New Roman Cyr 14 пт; поля страницы: слева – 3 см, справа – 1 см, сверху – 2,0 см, снизу – 2,5 см.

Краткие сообщения – в пределах 4 машинописных страниц, включающих не более 2 рисунков и 2 таблиц.

2.2. Статья должна включать:

- индекс УДК (универсальная десятичная классификация) в верхнем левом углу;
- название статьи (на русском и английском языках);
- фамилия, имя, отчество автора (авторов) (на русском и английском языках);
- реферат статьи (до 500 знаков) (на русском и английском языках);
- ключевые слова (5–7 слов на русском и английском языках);
- текст статьи, отражающий цель исследования, методы работы, собственно исследования, конкретные выводы;
- библиография (в библиографическом списке нумерация источников должна соответствовать очередности ссылок на них в тексте; номер источника в тексте указывается в квадратных скобках – автоматическая нумерация ссылок не допускается);
- подпись автора (авторов).

2.3. Иллюстрации к статье (рисунки, фотографии) должны быть черно-белыми, четкими (разрешение не менее 300 dpi, расширение *.jpg) и вставлены в текст. Обычный размер иллюстраций – не более половины листа А4. Формулы и символы помещаются в текст с использованием редактора формул Microsoft Education. Таблицы вставляются в текст; ссылки на рисунки и таблицы обязательны; названия таблиц и подписуемых подписей обязательны.

2.4. Нумерация страниц обязательна.

2.5. Тип файла в электронном виде – RTF.

Образцы оформления библиографии:

книга

Самарский А.А., Гулин А.В. Устойчивость разностных схем. М.: Наука, 1973. 210 с.

Интегральные схемы: Принципы конструирования и производства / под ред. А.А. Колосова. М.: Сов. радио, 1989. 280 с.

статья из книги, сборника, журнала

Петренко В.И., Доготь А.Я. Пневмогидравлический кавитационный процесс // Геодинамические основы прогнозирования нефтегазоносности недр: тезисы докладов 1-й Всесоюзной конференции. М., 1988. Ч. 3. С. 616–617.

Хлынов В.А. Общегосударственное планирование рыночной экономики: Опыт Японии // Экономист. 1994. № 4. С. 89–94.

Базаров А.Ж. О некоторых нелокальных краевых задачах для модельных уравнений второго порядка // Известия вузов. Математика. 1990. Т. 2, № 3. С. 11–15.

диссертации и авторефераты диссертаций

Ерков С.А. Формирование художественного восприятия произведений изобразительного искусства на уроках изобразительного искусства в 5, 6 классах средней общеобразовательной школы: дисс. ... канд. пед. наук. М., 2006. 184 с.

Вахромов Е.Е. Психологические особенности самоактуализации подростков с отклоняющимся поведением: автореф. дисс. ... канд. психол. наук. М., 2003. 30 с.

При несоблюдении указанных правил редакция оставляет за собой право не публиковать статью.

3. Порядок рецензирования

3.1. Рукопись направляется на рецензирование ведущим специалистам в данной области (внешнее и внутреннее рецензирование).

3.2. Результаты рецензирования редакция сообщает автору по электронной почте.

3.2. По результатам рецензирования редколлегия принимает решение о целесообразности опубликования материала, о чем дополнительно сообщается автору.

Статьи представляются в редакционно-издательский отдел ИПЦ КБГУ.

Адрес ИПЦ КБГУ: 360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173.

Контактный телефон: (8662) 72-23-13.

E-mail: rio@kbsu.ru, izvestia_kbsu@mail.ru. E-mail-адрес защищен от спам-ботов, для его просмотра у вас должен быть включен Javascript.

Ответственный секретарь редакции – **Шогенова Марина Чашифовна**.

После положительного решения редколлегии о публикации статьи в журнале «Известия КБГУ» автор (или авторы) статьи перечисляет на р. сч. КБГУ плату из расчета 500 руб. (в т.ч. НДС) за страницу рукописи.

Назначение платежа: редакционно-издательские услуги («Известия КБГУ»), код дохода 07430201010010000130, разрешение № 0732069510 от 30.03.05 г. пункт 1. В стоимость входят расходы по доставке журнала по территории России. Автор (или авторы) статьи получает 2 экземпляра журнала бесплатно.

Для выкупа дополнительных номеров журнала необходимо передать в редакцию (ИПЦ КБГУ) письмо-заявку с указанием номера и количества экземпляров журнала и перечислить на р. сч. КБГУ плату из расчета 250 руб. (в т.ч. НДС) за один экземпляр журнала с назначением платежа: редакционно-издательские услуги (за журнал «Известия КБГУ»), код дохода 07430201010010000130, разрешение № 0732069510 от 30.03.05 г. пункт 1.

Реквизиты КБГУ для платежей:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова» (КБГУ)

Почтовый и юридический адрес:

360004, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173

Телефон: 42-25-60,

Voice/fax: +7(495) 3379955

Телетайп: 257245 «Альфа»

E-mail: bsk@kbsu.ru

ОКПО 02069510

ОКОНХ 92110

ОГРН 1020700739234 от 22.07.11г.

ОКОГУ 13240

ОКАТО 83401000000

ОКЭВД 80.30.1

ОКОПФ 72

ОКФС 12

Банковские реквизиты:

Получатель:

ИНН 0711037537/ КПП 072501001

Отдел № 1 УФК по Кабардино-Балкарской Республике (0401 КБГУ л/с 20046Х17540)

Банк получателя:

ГРКЦ НБ Кабардино-Балкарск. Респ. Банка России г. Нальчика

БИК 048327001

Р/с 40501810100272000002

КБК 00000000000000000130

Копия платежного документа передается или высылается в редакцию журнала по электронной почте.

**ИЗВЕСТИЯ КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**PROCEEDINGS OF THE
KABARDINO-BALKARIAN
STATE UNIVERSITY**

ТОМ V, № 5, 2015

Редактор *Л.З. Кулова*
Компьютерная верстка *Е.Л. Шериевой*
Корректор *Л.З. Кулова*

В печать 26.10.2015. Формат 60x84 ¹/₈.
Печать трафаретная. Бумага офсетная. 13.02 усл.п.л. 13.0 уч.-изд.л.
Тираж 1000 экз. Заказ № 7380.
Кабардино-Балкарский государственный университет.
360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173.

Полиграфическое подразделение КБГУ.
360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173.