

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ВЫПУСК
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА
ЧАСТЬ III

Под редакцией доктора технических наук, профессора Д. Д. Куликова

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА	
Куликов Д. Д., Падун Б. С., Яблочников Е. И. Перспективы автоматизации технологической подготовки производства.....	7
Падун Б. С. Взаимодействие процессов механического и сборочного производства ..	12
Филюков Н. Е. Система администрирования web-ориентированной автоматизированной системы технологической подготовки производства.....	15
Куликов Д. Д., Сагидуллин А. С., Носов С. О. Интеграция САД-системы с системами автоматизированного проектирования	18
Бабанин В. С. Методика создания конструкторско-технологической модели детали в среде САД-системы.....	21
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ	
Куликов Д. Д., Клеванский Н. С., Бабанин В. С. Автоматизированное формирование моделей операционных заготовок	26
Восоркин А. С. Применение систем моделирования при проектировании изделий из полимерных композиционных материалов	30
Яблочников Е. И., Смирнов П. В., Воробьев А. С. Применение систем виртуального моделирования для разработки технологических процессов корпусирования электронных компонентов.....	33
Клевцов В. А., Помпеев К. П. Автоматизация процесса проектирования технологий на основе структурного синтеза размерных связей	37
Куликов Д. Д. Управление знаниями в автоматизированной системе технологической подготовки производства.....	41

Носов С. О., Сагидуллин А. С. Организация метаданных в системе управления знаниями	45
Рябчиков И. Н. Проектирование шаблонов управляющих программ измерения на основе конструкторско-технологической модели заготовки	49
ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ОЦЕНКА ИХ МИКРОГЕОМЕТРИИ	
Валетов В. А., Филимонова Е. А. Применение непараметрических критериев для оценки микрогеометрии при импульсном фрезеровании	52
Леонов Д. Б., Иванов А. Ю. Воздействие внешней среды на эксплуатационные свойства поверхностей деталей	54
Филимонова Е. А., Юльметова О. С., Третьяков С. Д. Оценка шероховатости поверхности с использованием трехмерных топографий	58
Пирогов А. В., Васильков С. Д., Савченко В. П. Контроль качества оптических изделий из термопластичных полимерных материалов	61
Кузьмин Ю. П., Помпеев К. П., Целищев А. А. Исследование влияния регуляризации микрорельефа поверхностей на качество склеивания стекла с металлом	65
Медунецкий В. М., Солк С. В. Конструкторско-технологические методы повышения показателей качества инфракрасных оптико-механических систем	68
Красильников А. В. Методика проектной оценки характеристик системы поддержания давления гидродинамического стенда	71
SUMMARY (перевод Ю. И. Копилевича)	76

THEMATIC ISSUE

ACTUAL PROBLEMS OF TECHNOLOGICAL PREPROCESSING

PART III

Edited by D. D. Kulikov, Doctor of Technical Science, Professor

CONTENTS

PREFACE	5
---------------	---

ORGANIZATION OF TECHNOLOGICAL PREPRODUCTION

Kulikov D. D., Padun B. S., Yablochnikov E. I. Perspectives of Automation of Technological Preproduction.....	7
Padun B. S. Interaction of Processes of Machining and Assembling Works.....	12
Filyukov N. E. Administration System of Web-Centric CAM	15
Kulikov D. D., Sagidullin A. S., Nosov S. O. Integration of CAD System with Automated Design Systems.....	18
Babanin V. S. A Method of Creation of Engineering and Design Model of Workpiece in a CAD-System Environment.....	21

AUTOMATED DESIGN SYSTEMS

Kulikov D. D., Klevansky N. S., Babanin V. S. Automated Creation of Operational Workpiece Model	26
Vosorkin A. S. Application of Virtual Modeling Systems in Products Design of Polymer Composite Materials.....	30
Yablochnikov E. I., Smirnov P. V., Vorobiev A. S. Application of Virtual Simulation Systems to Development of Housing Processes for Electronic Components.....	33
Klevtsov V. A., Pompeev K. P. Automation of Technological Process Design Based on Structural Synthesis of Dimensional Connections	37
Kulikov D. D. Knowledge Management in Automated System of Technological Preproduction	41
Nosov S. O., Sagidullin A. S. Organization of Metadata in System of Knowledge Management	45
Ryabchikov I. N. Template Design of Control Programs of Measurement on the Base of Design-Technology Workpiece Model.....	49

SURFACE ROUGHNESS AND MICROGEOMETRY ASSESSMENT

Valetov V. A., Filimonova E. A. Application of Non-Parametric Criteria for Estimation of Surface Microgeometry at Pulse Milling.....	52
---	----

Leonov D. B., Ivanov A. Yu. The Effect of the Environment on Functional Performance of Machine Part Surface.....	54
Tretyakov S. D., Yulmetova O. S., Filimonova E. A. Evaluation of Surface Roughness Using Three-Dimensional Topography.....	58
Pirogov A. V., Vasilkov S. D., Savchenko V. P. Quality Control of Optical Articles Made of Thermoplastic Polymer Material	61
Kuzmin Yu. P., Pompeev K. P., Tselishchev A. A. Research on the Effect of Surface Microrelief Regularization on the Quality of Glass-to-Metal Bonding.....	65
Medunetsky V. M., Solk S. V. Design and Technological Methods to Assure Quality Index of IR Optomechanical Systems.....	68
Krasilnikov A. V. Method of Design Assessment of Characteristics of Pressure Maintenance System of Hydrodynamic Stand	71
SUMMARY	76

Editor-in-Chief E. B. Yakovlev

ПРЕДИСЛОВИЕ

В предлагаемом сборнике представлены результаты исследований, выполненных преподавателями и аспирантами кафедры технологии приборостроения Университета ИТМО (первые две части опубликованы в журнале „Известия вузов. Приборостроение“, 2010. № 6, 8).

В современном мире в условиях острейшей конкуренции происходит глобальная трансформация промышленного производства, характерными особенностями которой являются создание виртуальных предприятий, подразделения которых могут быть рассредоточены по всему миру, активное использование информационных технологий, применение новейших технологий и автоматизированного оборудования. Желание в кратчайшие сроки выпустить на рынок новые изделия с новыми характеристиками и при этом получить максимальную прибыль — характерная черта промышленного бизнеса. Однако изделия становятся все более сложными и точными, поэтому организация жизненного цикла изделия на всех этапах его проектирования, производства и эксплуатации — весьма сложный и дорогой процесс. В предлагаемом сборнике затронут лишь один этап — этап технологической подготовки производства.

В статье Е. И. Яблочникова, Д. Д. Куликова, Б. С. Падуна предложен концептуальный подход к созданию нового поколения АСТПП и показаны перспективы дальнейшей автоматизации АСТПП. Подходы, изложенные в этой работе, развиваются в нескольких статьях первого раздела. В статье Падуна Б.С. рассматриваются подходы к обеспечению требуемой функциональной точности изделия, изготавливаемого из сборочных единиц существенно меньшей точности. Предложены способы организации производственных процессов на основе информационных технологий, прогноза изменения свойств технологического оборудования и метода адаптивно-селективной сборки.

В ряде работ рассматриваются вопросы оценки шероховатости поверхностей деталей с помощью непараметрических критериев, предложенных проф. В. А. Валетовым. В статье Е. А. Филимоновой, О. С. Юльметовой, С. Д. Третьякова предложено оценивать шероховатость с помощью трехмерных топографий. Создание оптических изделий из полимерных материалов — перспективное направление в приборостроении, способы контроля качества таких изделий предложены в статье А. В. Пирогова, С. Д. Василькова, В. П. Савченко. Обеспечению качества оптико-механических систем с помощью конструкторско-технологических методов посвящена работа В. М. Медунецкого и В. С. Солка.

В целом, на наш взгляд, сборник получился интересным и достаточно полно отражающим исследования, проводимые на кафедре технологии приборостроения Университета ИТМО.

*Д. Д. КУЛИКОВ, доктор технических наук,
профессор кафедры технологии приборостроения
Университета ИТМО*

PREFACE

This issue continues publication of results of investigations carried out by lecturers and post-graduate students of Department of Instrumentation Technologies, St. Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics, and Optics (the two previous parts may be found in this Journal, numbers 6 and 8, 2010).

In present-day world, in conditions of extra intense competitions, a global transformation of industrial manufacturing takes place. The transformation is characterized by establishment of virtual enterprises with affiliates dispersed all over the world, active employment of information technologies, application of up-to-date technologies and automated equipment. The desire to offer for sale in shortest time new goods with new features, and to realize therewith the maximal profit, is a specific characteristic of industrial business. However, products increasingly grow in complexity and accuracy, so that organization of life cycle of the product at all the stages of its design, manufacturing, and exploitation becomes a very complicated and expensive process. Selected papers in this issue hit only one of the aspects – technological preproduction.

In the paper by E. Yablochnikov, D. Kulikov, and B. Padun a conceptual approach to development of a new generation of automated systems of technological preproduction is proposed and perspectives of further automation of the systems are demonstrated. The ideas presented in this paper are developed in several works included in the first Section of the issue. In the paper by B. Padun, the problem of ensuring of necessary functional accuracy of a product are approached in the case when assembled units of significantly lower accuracy. Organization of production processes on the base of information technologies, prediction of variations in technological equipment features, and method of adaptive-selective assembling is proposed.

Some papers consider the problems of assessment of surface roughness of optical elements with the use of non-parametric criteria proposed by Prof. V. Valetov. In the work by E. Filimonova, O. Yulmetova, S. Tretyakov, the roughness is proposed to evaluate with the use of three-dimensional topography. Manufacturing of optical articles from polymer materials is a perspective avenue in instrument making; methods of quality control of such articles are proposed in the paper by A. Pirogov, S. Vasilkov, and V. Savchenko. Design and engineering methods to assure quality of optical-mechanical systems are considered in the work by V. Medunetsky and V. Solk.

In my opinion, the issue as a whole succeeds to be quite interesting and adequately covers the investigations carried out at the Department of Instrumentation Technologies in University ITMO.

D. D. KULIKOV
Doctor of Technical Sciences, Professor

ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 658.511.4:621.9

Д. Д. Куликов, Б. С. Падун, Е. И. Яблочников

ПЕРСПЕКТИВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Исследованы вопросы автоматизации технологической подготовки производства (ТПП) изделий, рассмотрено современное состояние ТПП. Рассмотрены принципы построения автоматизированной системы ТПП как корпоративной информационной, функционирующей в частном облаке и обслуживающей группу родственных предприятий с помощью многоагентной технологии.

Ключевые слова: технологическая подготовка, среда проектирования, САПР, многоагентные технологии, PDM-система, web-сервис, облачные технологии.

Введение. Одним из важнейших этапов жизненного цикла изделий была и остается технологическая подготовка производства (ТПП), уровень которой во многом определяет качество конечного продукта, сроки его выхода на рынок и конкурентоспособность предприятия в целом. Одним из главных направлений совершенствования в этой сфере является создание автоматизированных систем технологической подготовки производства (АСТПП), что и определяет актуальность настоящей работы [1].

Требования к точности многих приборов сегодня превосходят требования к точности технологического оборудования. Для обеспечения заданной точности и низкой себестоимости изделий современное производство организуется как цифровое, т.е. интегрирующее на основе информационных технологий процессы организации и управления подготовки производства и изготовления изделий. Цифровое производство основано на исследовании изменений параметров среды, технологического оборудования, инструмента, оснастки, деталей и сборочных единиц и адаптации ТПП во время изготовления изделия с целью обеспечения заданного функционального качества этих изделий и высокой производительности производственных процессов. Для этого необходимо применять оборудование с программным управлением, автоматизированные системы управления технологическими процессами и системы автоматизированного проектирования и корректировки технологий изготовления изделий.

Следовательно, цифровое производство предъявляет высокие требования к автоматизированной ТПП, которая должна обеспечивать качественное и своевременное решение поставленных задач. Современная ТПП наряду с известными методами групповой технологии должна предусматривать при выполнении технологических проектов принципиально новые методы адаптивно-селективной сборки и адаптивной технологии.

Уровень развития ТПП. Современный этап ТПП характеризуется тем, что:

1) широко используются при решении технологических задач универсальные системы CAD/CAE/CAPP/CAM. Особо надо отметить развитие CAE-систем, которые необходимы для

анализа объектов и процессов и принятия оптимальных решений. Например, новые технологии и технологии изготовления изделий из композитных материалов предполагают использование таких программных продуктов, как Moldex3D, OOFELIE, Digimat, что усложняет ТПП, однако и повышает ее эффективность;

2) находят применение специализированные комплексы, направленные на решение узких технологических задач, при этом комплексы имеют разный уровень автоматизации и слабо интегрированы как между собой, так и с ERP-системами. Это не позволяет на современном этапе создать единую интеллектуальную интегрированную систему ТПП;

3) уровень автоматизации во многих программных комплексах АСТПП недостаточен и возникает необходимость в повышении их интеллектуального уровня. Кроме того, существующие САПР технологических процессов не учитывают реальных производственных условий, это снижает эффективность их применения;

4) разработанные ранее методы анализа, унификации, типизации и группирования предметов и процессов производства в настоящее время не обеспечены соответствующими программными системами;

5) деловой процесс для ведения технологического проекта является сложным и связан с подготовкой и утверждением большого комплекса документов. Достаточно часто возникает необходимость возврата на предшествующие этапы проекта для исправления неверных или неэффективных решений. Для ведения технологических проектов, поддержки жизненного цикла изделий и организации единого информационного пространства стали применять PDM-системы с использованием технологии workflow. Однако их применение носит весьма ограниченный характер;

б) наблюдается тенденция к виртуализации ТПП на основе аутсорсинга, что особенно важно в условиях виртуализации самого производства изделий. Однако для реализации такой тенденции требуется высокий уровень взаимодействия, основанный на информационных технологиях.

Таким образом, с системных позиций ТПП представляет собой сложную и неоднородную информационную систему, функционирующую в условиях быстро развивающихся информационных технологий, новых способов организации производства и стремительного изменения производственной среды предприятия. Для удовлетворения требований цифрового производства необходимо перейти к созданию АСТПП нового поколения, поэтому на кафедре технологии приборостроения Университета ИТМО был проведен цикл исследований, на базе которых разработана концепция построения АСТПП, позволяющая наметить основные перспективы автоматизации ТПП.

Концепция построения АСТПП. Основные положения концепции заключаются в следующем.

1. АСТПП создается как корпоративная web-ориентированная система, основанная на PLM-решениях (Product Lifecycle Management) и функционирующая в рамках расширенного предприятия, при этом программные компоненты АСТПП расположены в частном облаке, охватывающем группу родственных предприятий.

2. Отслеживание жизненного цикла изделия на стадии ТПП выполняется на базе PDM-системы с использованием технологии workflow, позволяющей выполнять контроль и управление ТПП с помощью автоматизированного документооборота.

3. Эффективное взаимодействие компонентов АСТПП при выполнении технологических проектов осуществляется на базе широкого применения многоагентных технологий.

4. Повышение интеллектуального уровня подсистем АСТПП достигается за счет последовательного создания и накопления баз данных и знаний, а также активного применения экспертных систем.

5. Информационная интеграция подсистем АСТПП и подсистем ERP предприятия достигается за счет создания единого информационного пространства (Collaborative Workspace), основанного на использовании системы управления знаниями.

6. Организационное совершенствование ТПП целесообразно выполнять на основе идеологии реинжиниринга, предполагающего моделирование деловых процессов ТПП с последующей их реорганизацией.

Рассмотрим более подробно эти положения. Концепция облачной технологии предполагает создание АСТПП как корпоративной системы, в которой подсистемы разработаны как web-сервисы, использующие удаленные базы данных и знаний. Создается частное облако, предназначенное для использования группой родственных предприятий. Такой подход позволяет для территориально разделенных подразделений предприятия организовать коллективную работу над технологическим проектом, включающим проектирование технологических процессов и технологического оснащения, разработку управляющих программ, изготовление и внедрение технологической оснастки и т.д.

Так как удаленное приложение всегда может быть запущено с помощью web-браузера, целесообразно использовать подход „программное обеспечение в качестве услуги“ (Software as a Service, SaaS), при котором доступ к системам, размещенным на сервере разработчика, предоставляется предприятию за определенную плату. Возможность работы в режиме реального времени позволяет не только примерно на 80 % сократить затраты на покупку и сопровождение программного обеспечения, но и снизить затраты на подготовку и обучение системных администраторов. Так как приложения находятся на сервере разработчика, то новые версии подсистем ТПП сразу становятся доступны всем пользователям. Появляется возможность коллективного сопровождения удаленных баз данных и знаний. Каждое предприятие может как иметь свои персональные базы данных и знаний, так и обращаться к общим для группы предприятий.

Еще одним преимуществом облачных технологий является высокая производительность серверов, находящихся в облаке, что позволяет эффективно их использовать для решения задач анализа, унификации, типизации и группирования, требующих большого количества ресурсов (времени и памяти). Для этого необходимо создать комплекс web-сервисов, решающих указанные задачи с использованием удаленных баз данных и знаний. Кроме того, возникает возможность решения ресурсоемких задач, связанных с постепенным повышением уровня унификации изделий, технологических процессов и специализацией технологических систем.

Таким образом, переход на облачные технологии позволяет организовать коллективную работу территориально разделенных подразделений предприятия над решением ресурсоемких задач.

Переход к web-ориентированным программным комплексам связан со следующими сложностями. Во-первых, универсальные системы не могут полноценно существовать в облаке. Однако ведущие ИТ-компании мира (Dassault Systemes, Autodesk, iDezine, Siemens PLM Software и др.) интенсивно работают над переводом программных продуктов на облачные технологии с использованием высокопроизводительных платформ Amazon и Azure.

Во-вторых, скорее всего, в ближайшие годы в России на рынке САПР будут популярны частные облака. Необходимо отметить, что доступ к приложениям в облаке осуществляется по защищенным каналам, а данные на сервере, как правило, защищены более надежно, чем на персональном компьютере сотрудника.

В-третьих, технических проблем в работе с частными облаками нет, однако остается под вопросом экономическая целесообразность переноса программного обеспечения в облака. Если на предприятии имеется работоспособный парк современной техники, закуплены постоянные лицензии на ПО, то разрушать инфраструктуру бессмысленно. Момент расширения

бизнеса, преодоления критической точки износа компьютерного парка или необходимость реинжиниринга предприятия — это рубеж, от которого может начаться перевод ПО на облачные технологии.

Необходимо отметить, что в будущем web-ориентированная АСТПП станет частью распределенной интеллектуальной производственной системы (Distributed Intelligent Manufacturing Systems, DIMS).

Исследования, выполненные на базе PDM-системы ENOVIA SMARTEAM, показали следующее. Применение PDM-системы позволяет организовать коллективную работу над практически неограниченным числом технологических проектов, находящихся в разных стадиях выполнения.

Ведение проекта предполагает управление потоком работ и контроль их исполнения; управление внесением и утверждением изменений. Автоматизированный контроль ведения проекта возможен с использованием технологии workflow, основанной на имитационном моделировании в реальном масштабе времени процесса выполнения проекта. При этом система выдает сообщения проектировщику и руководству о нарушениях сроков выполнения текущей задачи проекта.

Уровень автоматизации во многих подсистемах АСТПП недостаточен. Кроме того, деловой процесс для технологического проекта сложен, он связан с подготовкой и утверждением большого комплекса документов. Достаточно часто возникает необходимость возврата на предшествующие этапы проекта для исправления неверных или неэффективных решений. В этих условиях многоагентные технологии могут быть использованы для:

- повышения интеллектуального уровня подсистем АСТПП;
- параллельного выполнения запущенных технологических проектов;
- нахождения оптимальных путей прохождения делового процесса;
- структурной оптимизации деловых процессов при реинжиниринге АСТПП.

Web-ориентированная АСТПП обладает возможностью перехода от web-сервисов к многоагентной системе путем переработки сервисов в агенты и организации взаимодействия последних между собой на базе агентных промышленных платформ, например JADE, REPAST, SPADE и т.д. [2].

В большинстве программных компонентов АСТПП проектные решения принимаются в режиме диалога с пользователем. Это вызвано недостаточным уровнем формализации решений и необходимостью учета как специфики предприятия, так и быстрого изменения производственной среды. Использование в этом случае экспертных систем и экспертных оболочек позволяет специалистам предприятий учитывать возникающие изменения и постепенно по мере формализации решений накапливать знания в базе знаний и тем самым повышать интеллектуальный уровень решаемых задач. Комплексы, предназначенные для сопровождения баз данных и знаний, должны иметь удобный для администраторов данных и инженеров по знаниям интерфейс. Следовательно, применение экспертных систем является одним из важных направлений автоматизации АСТПП [3].

Поскольку система представляет собой набор независимых программных компонентов, необходимо предусмотреть механизмы, обеспечивающие информационное взаимодействие ее модулей. Основным механизмом взаимодействия компонентов, безусловно, является система управления знаниями, использующая комплекс онтологий АСТПП, а также комплекс агентов-преобразователей, обеспечивающих семантическую совместимость данных, которыми обмениваются системы. Данные и результаты их преобразования фиксируются в дереве изделия PDM-системы, в любой момент возможен авторизованный доступ к ним. Таким образом создается единое информационное пространство АСТПП.

Организационное совершенствование ТПП целесообразно выполнять на основе идеологии реинжиниринга. Это, в первую очередь, предполагает выполнение структурных преобра-

зований с целью оптимизации структуры ТПП в условиях перехода к виртуализации как самой ТПП, так и производства в целом. На первых этапах выполняется моделирование деловых процессов ТПП с использованием различных методологий и инструментария: SADT, ARIS, ADONIS, AnyLogic, GPSS и т.д. На этих этапах целесообразно использовать методологию RUP [4], с помощью которой возможно не только выполнять моделирование деловых процессов, используя диаграммы UML, но и разрабатывать новые программные компоненты АСТПП.

Анализ полученных при моделировании функциональных, информационных и организационных моделей ТПП позволяет оценить существующий уровень автоматизации ТПП для последующего определения объектов автоматизации и перестройки деловых процессов ТПП. Оценка уровня автоматизации ТПП может быть выполнена на основе метрик, предложенных в работе [5]. Необходимо отметить, что оптимизация деловых процессов весьма сложна, так как требует учета множества глобальных факторов, включая финансовые возможности, кадровый потенциал и техническую политику предприятия. Результатом является виртуализация ТПП и создание информационно-управляющей среды, позволяющей с помощью агентов управлять выполнением заказов „на стороне“ и выбирать оптимальные заказы для конкретной ситуации [6].

Заключение. Предлагаемые перспективы автоматизации АСТПП основаны на широком применении информационных технологий и преобразовании АСТПП в корпоративную информационную систему, что отвечает, на наш взгляд, стратегическому направлению развития промышленного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Митрофанов С. П., Куликов Д. Д., Миляев О. Н., Падун Б. С. Технологическая подготовка гибких производственных систем. Л.: Машиностроение, 1987. 352 с.
2. Зильбербург Л. И., Молочник В. И., Яблочников Е. И. Информационные технологии в проектировании и производстве. СПб: Политехника, 2008. 304 с.
3. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы данных интеллектуальных систем. СПб: Питер, 2000. 384 с.
4. Афанасьев М. Я., Саломатина А. А., Алёшина Е. Е., Яблочников Е. И. Применение многоагентных технологий для реализации системы управления виртуальным предприятием // Науч.-техн. вестн. Информационных технологий, механики и оптики. 2011. №5(75). С. 105—111.
5. Куликов Д. Д., Яблочников Е. И. Применение оценочных метрик для анализа технологической подготовки производства // Науч.-техн. вестн. информационных технологий, механики и оптики. 2011. № 6 (76). С. 109—112.
6. Яблочников Е. И., Фомина Ю. Н., Саломатина А. А. Организация технологической подготовки производства в распределенной среде // Изв. вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53, № 6. С. 12—15.

Сведения об авторах

- Дмитрий Дмитриевич Куликов** — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: ddkulikov@rambler.ru
- Борис Степанович Падун** — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: bsp.tps.ifmo@mail.ru
- Евгений Иванович Яблочников** — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; заведующий кафедрой; E-mail: eugeny@beepitron.com

Рекомендована кафедрой
технологии приборостроения

Поступила в редакцию
09.04.14 г.

Б. С. ПАДУН

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОГО И СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Рассматриваются подходы к обеспечению требуемой функциональной точности изделия, детали и сборочные единицы которого изготовлены с существенно меньшей точностью. Предложены способы организации производственных процессов на основе информационных технологий, прогноза изменения свойств технологического оборудования и метода адаптивно-селективной сборки.

Ключевые слова: интеграция, информационные технологии, методы организации производства, перспективный прогноз.

Введение. Перед современным производством стоит задача выпуска в короткий срок небольшими партиями изделий высокой функциональной точности. Унификация и организация группового производства позволяют обеспечить выпуск небольших партий изделий в заданные сроки, а требуемая точность достигается при традиционных методах изготовления усложнением технологического оборудования и использованием информационных и измерительных технологий. Но как только требуемая функциональная точность изделий (приборов и машин) превзошла точность обрабатывающего и сборочного оборудования почти на порядок, возникла проблема достижения заданного качества изделий при их изготовлении. Метод селективной сборки обеспечивает требуемое качество изделий из деталей, точность изготовления которых значительно меньше требуемой функциональной; он обеспечивает низкую себестоимость изготовления изделия, но эффективен только в массовом производстве.

Возможные подходы к повышению функциональной точности изделий:

1) повышение точности обрабатывающего и сборочного оборудования, но этот способ дорог и ограничен физическими возможностями механического оборудования;

2) применение в сборочных процессах информационных и измерительных технологий. Здесь следует выделить два способа, первый основан на измерении, анализе и компенсации погрешности во время сборки. Такой способ удобен: в общем случае требуется включить в технологический процесс сборки измерительную и компенсирующую операции и в случае необходимости разработать программную систему анализа погрешности и формирования управляющего воздействия на компенсирующее оборудование. Но он не всегда может быть реализован либо приводит к ощутимой потере производительности, например, в сборке оптических изделий.

Второй способ основан на интеграции процессов управления сборочным и механическим производством. В этом случае все поступившие на сборку детали, от которых зависит функциональная точность, измеряются, и строятся законы распределения размеров деталей. Если точность не обеспечивается поступившими деталями, то по линии обратной связи на оборудование с программным управлением механического производства передаются корректирующие воздействия, что позволяет сместить поле допуска при изготовлении новых деталей и повысить процент изделий требуемой точности. Такой способ получил название „адаптивно-селективная сборка“ [1], при этом снижается доля деталей, которые не могут быть использованы для сборки качественного прибора. Способ требует специального программного обеспечения, оперативной связи между производственными подразделениями и применения оборудования с программным управлением [2, 3]. При использовании такого способа сборочная операция определяет технологию изготовления его комплектующих, а именно деталей и сборочных единиц, но область применения адаптивно-селективной сборки — крупносерийное производство;

3) разработка принципиально новых технологических методов выполнения операций. В первую очередь это касается аддитивных технологий, которые позволяют не только „выращивать“ детали сложной конфигурации, но и обеспечивать выдерживание размеров сложных сочленений деталей, изготовленных из разных материалов. Например, в узле „линза в оправе“ оправка должна выращиваться из достаточно твердого материала, линза — это оптическая деталь, которая изготовлена из оптического стекла и включается в узел как элемент, а между линзой и оправкой выращивается промежуточный слой;

4) построение единой интегрированной производственной системы, включающей технологическую систему, которая объединяет все технологическое оборудование и автоматизированные системы (АС) проектирования.

Интегрированная технологическая система (ИТС) должна иметь возможность изменять свои свойства во время функционирования. Зависимости поведения оборудования ИТС во времени формируются при изготовлении разных изделий и имеют общий характер. По полученным зависимостям через определенные интервалы времени корректируются программы работы оборудования ИТС, в отличие от адаптивно-селективной сборки, при которой корректировка программы может выполняться только во время сборки. Все действия по накоплению и анализу данных, формированию правил изменения технологии во время изготовления изделий выполняются системой автоматизированного проектирования (САПР) технологической подготовки производства (ТПП). Следовательно, обеспечивается интеграция САПР ТПП и систем управления технологическими процессами литья, механической обработки и сборочного производства (рис. 1). Такую принципиально новую организацию производства назовем „организацией производства перспективного прогноза“.

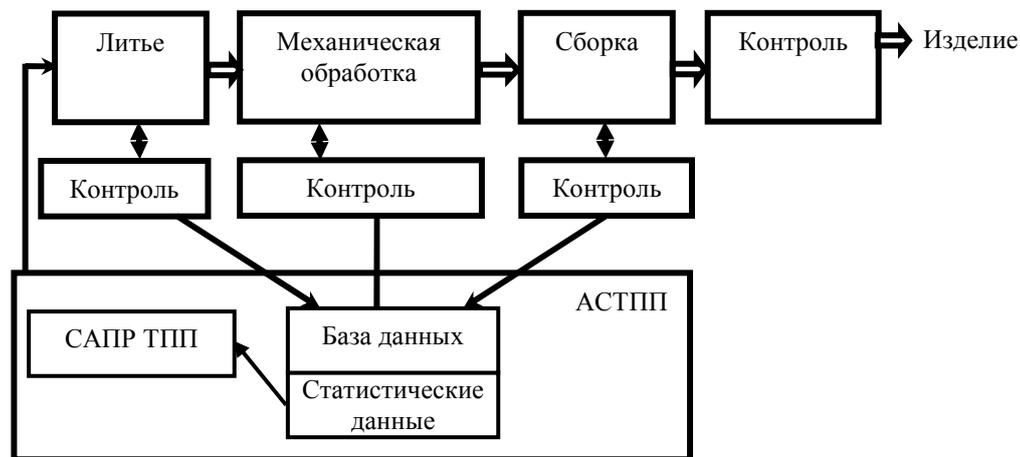


Рис. 1

Необходимо отметить, что предложенный подход хорошо сочетается с адаптивно-селективной сборкой. Сначала корректировка технологии осуществляется на базе прогноза изменения свойств ИТС, а затем — на базе измерений изготовленных деталей. В этом случае объем незавершенного производства уменьшается, и такой подход можно применить для серийного и даже мелкосерийного производства, обеспечивая заданную функциональную точность изделия и снижение себестоимости изделия.

Интегрированная система проектирования, в общем случае, объединяет исследовательские, проектные, конструкторские, технологические, организационные работы и работы по управлению качеством продукции. Такая интеграция обеспечивает управление процессами развития текущих и проектируемых технологических процессов в зависимости от состояния ИТС и изготавливаемого изделия (рис. 2) [4].

Высокая степень интеграции производственной системы закладывается еще на этапе конструкторской подготовки производства (КПП), когда проводится анализ функциональных

и эксплуатационных требований к изделию, анализ возможности использования изделий-аналогов на основе проведенной унификации, разрабатывается конструкция будущего изделия. При этом используется опыт предшествующих разработок.

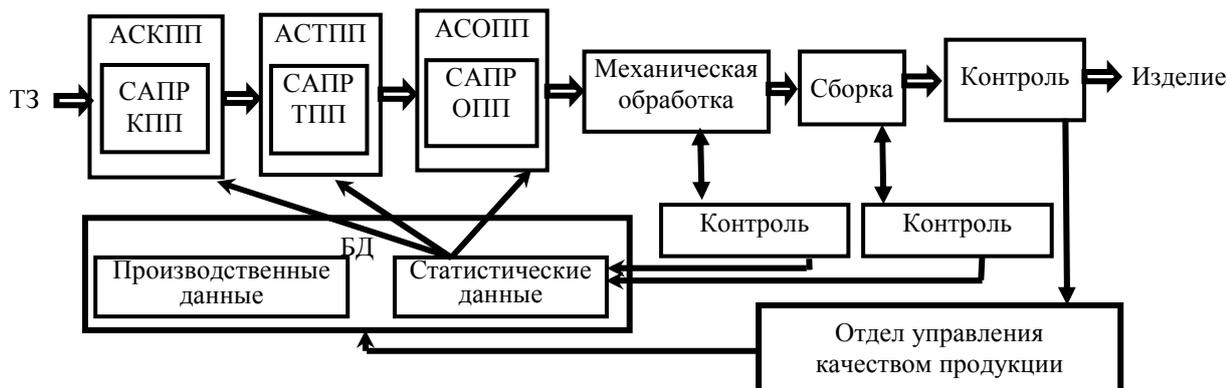


Рис. 2

Технологическая подготовка производства (ТПП) — это основной этап создания и поддержки интеграции. На основе перспективного прогноза:

— создается цифровое производство. Постоянное накопление статистических данных обеспечивает управляемость ходом проектирования технологических процессов (ТП) и изготовления при частой сменяемости номенклатуры изделий и уменьшении серийности;

— обеспечивается заданная функциональная точность при проектировании ТП, так как принятие технологических решений основывается на данных о реальном состоянии производства в текущий момент времени;

— рассчитываются допуски и межоперационные припуски с учетом динамических погрешностей оборудования.

Организационная подготовка производства (ОПП) обеспечивает создание специализированных производственных подразделений. Специализация сокращает время на адаптацию новых изделий к условиям конкретного производства, повышает эффективность использования ИТС, позволяет выбирать управляющие воздействия, обеспечивающие преимущество принятых технологических решений.

На этапе управления качеством изделие и отдельные его компоненты подвергаются контролю (измерению), результаты измерений помещаются в базу данных (БД). На основе полученных данных решаются задачи повышения качества продукции без существенного увеличения себестоимости его изготовления.

Так как процесс изготовления характеризуется наличием некоторого незавершенного производства, то накапливаются данные о незавершенном производстве. На основании статистических данных определяются и/или уточняются закономерности протекания процессов, формируются управляющие воздействия для всех систем подготовки производства.

В том случае, когда требуется изготовить изделие, уже спроектированное и отработанное на данном предприятии, процесс начинается с непосредственного изготовления изделия. Если в процессе изготовления выявляется необходимость корректировки тех или иных свойств изделия или ИТС, то статистические данные анализируются и активизируются соответствующие обратные связи.

Заключение. Процессы интеграции механического и сборочного производства базируются на исследовании изменений параметров среды, технологического оборудования, инструмента, оснастки, деталей и сборочных единиц изделия с последующей адаптацией технологических процессов к этим изменениям во время изготовления изделия с целью обеспечения заданного функционального качества приборов и машин и высокой производительности.

Для обеспечения интеграции требуются оборудование с программным управлением, автоматизированные системы управления технологическими процессами и системы автоматизированного проектирования конструкций и технологий. При этом в производстве наряду с известными методами групповой технологии должны применяться принципиально новые методы адаптивно-селективной сборки и организации производства перспективного прогноза. Новые методы основаны на широком использовании в технологическом процессе метрологических операций, обеспечивающих высокую оперативность анализа и адаптацию технологических систем в процессе изготовления изделия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Zocher K.-P.* Adaptive und Selektive Montage in der flexiblen Fertigung. Informationsmaterial TU Ilmenau, 2002.
2. *Падун Б. С., Латыев С. М.* Интегрированная система автоматизации сборки микрообъективов // Изв. вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53, № 8. С. 34—39.
3. *Падун Б. С., Рябов М. А.* Организация управления технологической системой автоматизированной линии сборки микрообъективов // Науч.-техн. вестн. СПбГУ ИТМО. 2011. Вып. 5 (75). С. 100—104.
4. *Падун Б. С., Свердлина И. И.* Новый подход к организации технологической подготовки производства с элементами управления точностью // Инструмент и технологии. 2004. № 21—22.

Сведения об авторе

Борис Степанович Падун — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: bsp.tps.ifmo@mail.ru

Рекомендована кафедрой
технологии приборостроения

Поступила в редакцию
09.04.14 г.

УДК 004.896

Н. Е. Филюков

СИСТЕМА АДМИНИСТРИРОВАНИЯ WEB-ОРИЕНТИРОВАННОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Рассмотрена ТИС-Админ — подсистема удаленного администрирования автоматизированной системы технологической подготовки производства, обеспечивающая управление web-сервисами технологического назначения, а также предоставляющая функционал для их взаимодействия.

Ключевые слова: АСТПП, ТИС, система администрирования, web-ориентированная, web-сервисы, мультиагентные технологии.

Одним из важнейших этапов жизненного цикла изделия является технологическая подготовка производства (ТПП), уровень которой во многом определяет качество конечного продукта, сроки его выхода на рынок и конкурентоспособность предприятия в целом. Одним из главных направлений совершенствования ТПП изделий является создание автоматизированных систем технологической подготовки производства (АСТПП) [1].

Расширенные (виртуальные) предприятия являются одной из форм кооперации множества организаций. Такой подход к организации производства имеет большой потенциал, так как позволяет уменьшить стоимость и ускорить выпуск продукции [2]. Но для качественной

технологической подготовки при такой организации производства необходим новый подход к разработке АСТПП.

Разработка АСТПП как корпоративной системы основана на концепции облачных технологий [3], что позволяет создавать АСТПП как web-ориентированную систему, подсистемы которой функционируют на основе удаленных web-приложений и используют удаленные базы данных и знаний. Для группы родственных предприятий создается частное облако. Такой подход позволяет организовать коллективную работу для территориально разделенных подразделений предприятия над единым технологическим проектом, а также обеспечивает возможность централизованного контроля над технологической подготовкой.

У участников кооперации, использующих web-ориентированную АСТПП, появляется возможность коллективного сопровождения удаленных баз данных и знаний. Каждое предприятие может как иметь персональные базы данных (БД) и знаний, так и обращаться к общим для группы предприятий. Таким образом, на базе web-ориентированной АСТПП возможна организация эффективного расширенного предприятия. Управление проектом АСТПП ведется на основе PDM-системы, позволяющей отслеживать жизненный цикл.

В настоящее время на кафедре ТПС ведется разработка технологической интегрированной среды (ТИС), предназначенной для решения основных задач ТПП на основе web-ориентированного подхода. ТИС имеет модульную архитектуру, в центре которой находится административная система — ТИС-Админ (рис. 1).

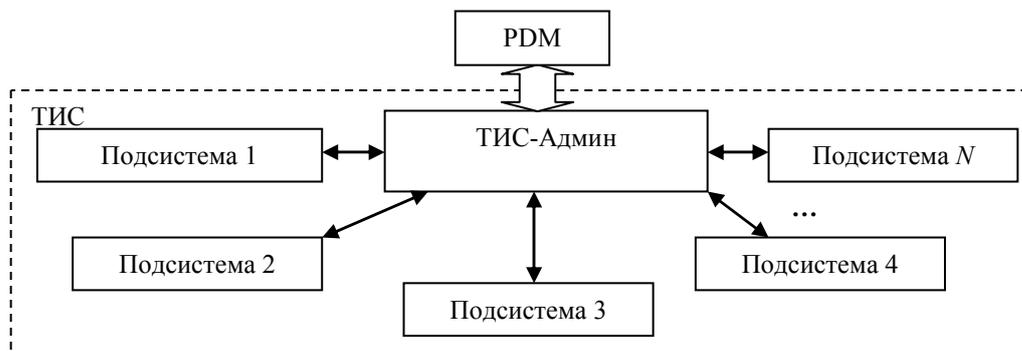


Рис. 1

Административная система представляет собой набор web-сервисов [4], обеспечивающий функционирование ТИС (рис. 2).

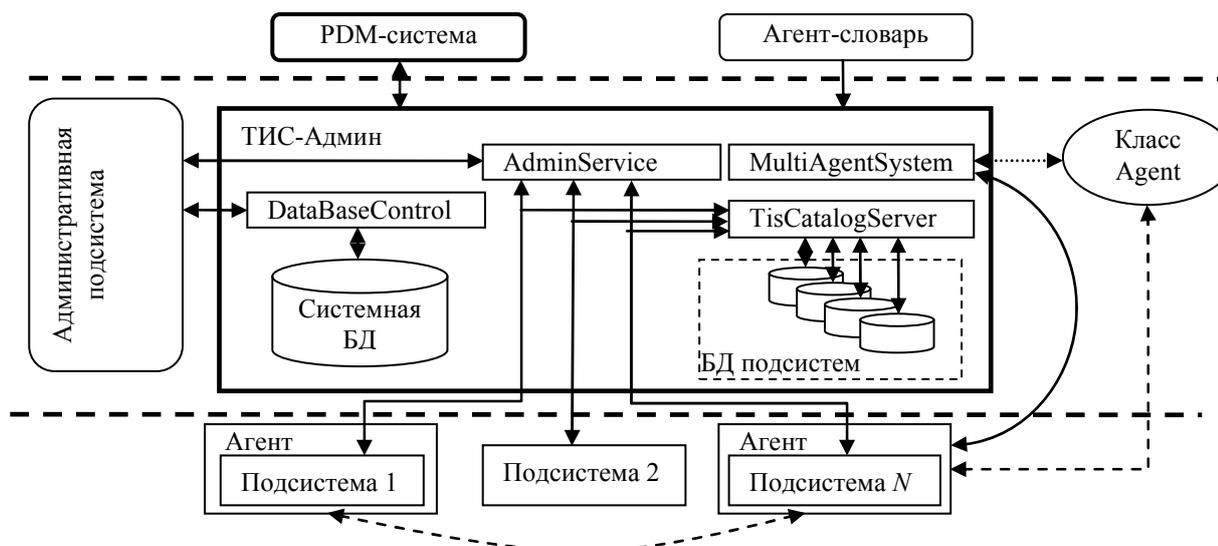


Рис. 2

Рассмотрим отдельные компоненты ТИС-Админ.

1. *AdminService* позволяет пользователю проходить аутентификацию и авторизацию в ТИС, предоставляет пользователю список доступных прав доступа. Этот web-сервис используется всеми подсистемами, оснащенными пользовательским интерфейсом.

2. *Системная БД* хранит данные о пользователях, их ролях, предприятиях кооперационной сети реестр подключенных подсистем и др.

3. *Административная подсистема* предоставляет пользователям web-интерфейс для работы с системой и системной БД; предоставляет информацию о пользователе, список доступных действий для работы как с административной системой, так и с подсистемами; отображает список доступных подсистем, обеспечивая возможность перехода к ним; позволяет производить администрирование всей ТИС, распределение подсистем между предприятиями, подключение новых подсистем и т.д.

4. *DataBaseControl* — доступ к данному web-сервису имеет только административная подсистема, с помощью которой пользователям предоставляется необходимый интерфейс для работы с системой и взаимодействия с системной БД.

5. *TisCatalogServer* представляет собой web-сервис организации работы с БД подсистем. Подсистемы и пользователь только после аутентификации и авторизации в системе при наличии прав доступа имеют возможность получить доступ к данным на сервере. Для реализации механизма в ТИС-Админ был разработан специальный web-сервис, с помощью которого подсистемы получают доступ к своим БД, после чего получают возможность работать с ними.

6. *MultiAgentSystem* — web-сервис, расширяющий ТИС до мультиагентной системы [5], предоставляет методы для передачи запросов на „понятном“ языке между подсистемами, расширенными до агентов. В рамках web-сервиса для реализации возможности расширения подсистем был создан специальный класс (Agent), который предоставляет единые методы для обмена информацией между агентами.

7. *Агент-словарь* — специальная подсистема ТИС-Админ, предоставляющая онтологию [6] ТПП для построения лингвистических запросов между подсистемами/агентами. Под онтологией понимается система, содержащая спецификацию задач и понятий, используемых в конкретной предметной области. В ней формально описываются сферы деятельности приложений, а также термины, применяемые при описании моделей объектов, циркулирующих в АСТПП. Словарь пополняется пользователями. Такой подход позволяет агентам понимать друг друга, что является необходимым условием для их взаимодействия при приеме и передаче моделей объектов и управляющих воздействий.

8. *PDM-система* — внешняя программа, используемая для создания единого информационного пространства, позволяющая осуществлять документооборот между предприятиями и подразделениями расширенного предприятия.

Таким образом, благодаря такой архитектуре возможно построить АСТПП, которую можно будет последовательно расширять.

Предложенная архитектура построения АСТПП, в основе которой лежит преобразование АСТПП в web-ориентированную корпоративную информационную систему, отвечает, на наш взгляд, стратегическому направлению развития промышленного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яблочников Е. И., Куликов Д. Д. Технологическая подготовка производства как многоагентная система. СПб: НИУ ИТМО. 2012. 46 с.
2. Саломатина А. А. Алгоритмы функционирования технологической подготовки производства в информационной среде виртуального предприятия. Дис. ... канд. техн. наук. СПб, 2011. 149 с.

3. Романченко В. Облачные вычисления на каждый день. 2009 [Электронный ресурс]: <http://3dnews/editorial/cloud_computing/>.
4. Анатольев А. Г. Web-сервисы как средство интеграции приложений в WWW. 2014 [Электронный ресурс]: <<http://www.4stud.info/networking/web-services.html>>.
5. Евгеньев Г. Б. Технология создания многоагентных прикладных систем // Мат. 11-й национальной конф. по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-08, Российская ассоциация искусственного интеллекта. М.: ЛЕНАНД, 2008. Т. 2 С. 306—312.
6. Лапшин В. А. Онтологии в компьютерных системах. М.: Научный мир, 2010. 224 с.

Сведения об авторе

Николай Евгеньевич Филлюков

— аспирант; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: badfilin@gmail.com

Рекомендована кафедрой
технологии приборостроения

Поступила в редакцию
09.04.14 г.

УДК 658.512.011.56

Д. Д. Куликов, А. С. Сагидуллин, С. О. Носов

ИНТЕГРАЦИЯ САД-СИСТЕМЫ С СИСТЕМАМИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Рассмотрен метод построения системы обмена данными на платформе web-сервисов с использованием параметрических моделей детали. При создании конструкторско-технологической модели и проектировании технологических процессов на ее основе использован набор web-сервисов.

Ключевые слова: ТИС-Процесс, автоматизация, единое информационное пространство, конструкторско-технологическая модель.

Введение. Задача автоматизации проектирования технологических процессов актуальна из-за возрастающей сложности конструкций приборов и необходимости сокращения производственно-технологического цикла при повышении качества проектных технологических решений.

В настоящее время в автоматизированных системах технологической подготовки производства используется комплекс систем САД/САМ/САЕ, которые слабо связаны между собой.

Поскольку в сфере производства наблюдается тенденция к увеличению доли аутсорсинга и созданию „расширенного предприятия“, становится очевидной необходимость применения новых инструментов коллективного использования и в сфере технологической подготовки производства (ТПП). Однако возникают проблемы информационной интеграции систем, применяемых в ТПП, в этой связи требуется создание единого информационного пространства (ЕИП), основанного на:

- использовании онтологий предметной области;
- применении метаданных, необходимых для ТПП;
- разработке унифицированного языка обмена информацией между системами.

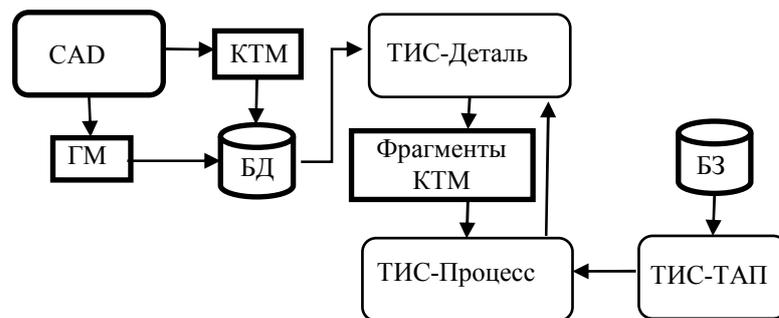
Таким образом, создание ЕИП является необходимым условием для организации автоматизированной системы технологической подготовки производства [1].

Информация, необходимая для проектирования технологических процессов, содержится в моделях деталей (заготовок), однако процесс ее извлечения из 3D-моделей трудоемок, поэтому задача определения способов интеграции САД-систем с системами автоматизиро-

ванного проектирования является актуальной. Одним из возможных подходов является извлечение информации из 3D-модели для получения параметрической модели детали (заготовки) и ее дальнейшего использования при проектировании технологий. Создание параметрической конструкторско-технологической модели (КТМ) детали достаточно сложный процесс, однако создавать КТМ параллельно с 3D-моделью трудоемко и экономически нецелесообразно. На кафедре технологии приборостроения разработана методика параметрического моделирования деталей, позволяющая создавать КТМ параллельно с 3D-моделью детали [2]. Созданные геометрическая модель детали (3D-модель с аннотациями) и КТМ регистрируются в каталоге и заносятся в базу данных (БД).

Параметрическое моделирование. Для работы с КТМ детали разработана система ТИС-Деталь, представляющая собой web-сервис и позволяющая либо в режиме диалога, либо в автоматическом режиме выбирать информацию, необходимую для решения технологических задач [3]. В этой системе описание детали представлено в виде иерархии фреймов, позволяющих создавать КТМ с любой степенью детализации. В КТМ детали кроме общих характеристик заготовки, покрытий, термообработки содержится и описание конструктивных элементов (КЭ). Синтаксически КТМ представляет собой XML-документ, что обеспечивает достаточно простой обмен информацией между подсистемами АСТПП. Необходимо отметить, что с помощью ТИС-Деталь можно создавать и редактировать КТМ деталей и заготовок и без использования САД-системы.

Система ТИС-Деталь используется при проектировании технологических процессов с помощью ТИС-Процесс. Поскольку ТИС-Процесс представляет собой web-сервис и использует внутреннюю модель технологического процесса (ТП) в XML-формате, возможен простой обмен информацией как между ее компонентами, так и между удаленными приложениями, обменивающимися потоками информации самой различной структуры. Такой подход позволяет организовать удаленную корпоративную работу над технологическим проектом. Управление процессом взаимодействия систем выполняется с помощью административной системы ТИС-Админ. Ведение технологического проекта выполняется в рамках PDM-системы SMARTTEAM. Общая схема взаимодействия систем приведена на рисунке (БЗ — база знаний, ГМ — геометрическая модель).



Выполнение технологического проекта. С помощью административной системы загружаются системы ТИС-Деталь и ТИС-Процесс, имеющие единый каталог, с помощью которого находится заданная КТМ детали. Таким образом, системе проектирования предоставляется возможность выбора любой информации о детали. Если для детали в базе есть ТП, то модель процесса может быть вызвана из БД для ее редактирования. С помощью библиотеки процедур анализируется и выбирается из КТМ детали нужная информация. В первую очередь находится информация об исходной заготовке и заносится в модель процесса. Необходимо подчеркнуть, что выборка происходит автоматически, а не выполняется технологом в режиме диалога по чертежу детали. При необходимости технолог открывает базу данных о сортаменте и уточняет решение, принятое конструктором.

Для ускорения процесса проектирования ТП используется база знаний, доступ к которой обеспечивает система ТИС-ТАП. С помощью этой системы создаются базы знаний, основанные на таблицах соответствий, позволяющих достаточно простыми способами выразить их в виде XML-документов и поместить в БЗ.

Примером использования предлагаемого подхода к проектированию ТП может служить задача нахождения переходов для обработки конструктивных элементов детали. При решении этой задачи используются типовые планы обработки поверхностей, информация о которых хранится в БЗ. Последовательно выбирая с помощью ТИС-Деталь информацию о конструктивных элементах детали и передавая информацию о них в ТИС-ТАП, можно получить план обработки каждой поверхности и распределить найденные переходы по соответствующим операциям. Аналогичным образом решаются и другие технологические задачи. В частности, имея информацию о конкретной поверхности и найденном переходе, с помощью ТИС-ТАП можно определить припуск и режимы обработки этой поверхности.

Проведенные эксперименты показали принципиальную возможность назначения режущего и измерительного инструмента с использованием связки ТИС-Деталь—ТИС-ТАП, однако выявили необходимость применения системы управления знаниями.

Технологические карты, сформированные в ТИС-Процесс, помещаются в электронный архив, принадлежащий PDM-системе SMARTTEAM. Дальнейшее развертывание технологического проекта (разработка управляющих программ, проектирование и изготовление специальной технологической оснастки, утверждение технологической документации) ведется под управлением SMARTTEAM, при этом всегда возможен возврат к ТИС-Процесс для проведения необходимых изменений. Коллективная работа над технологическим проектом и управление его жизненным циклом возможны благодаря функциональным свойствам SMARTTEAM, позволяющим реализовать технологию управления потоком работ (workflow).

Выводы. Исследование способов взаимосвязи систем автоматизированного проектирования ТИС-Процесс и САД-системы показало, что, применив параметрические модели детали, можно организовать систему обмена данными на платформе web-сервисов.

Применение ТИС-ТАП в сочетании с автоматизированной выборкой информации из КТМ детали или заготовки позволяет добиваться глубокой формализации данных технологического назначения, что, в свою очередь, влечет за собой значительное повышение уровня автоматизации системы проектирования технологических процессов и повышение качества проектируемых ТП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куликов Д. Д., Падун Б. С., Яблочников Е. И. Перспективы автоматизации технологической подготовки производства // Наст. выпуск. С. 7—11.
2. Куликов Д. Д., Клеванский Н. С., Бабанин В. С. Автоматизированное формирование моделей операционных заготовок // Наст. выпуск. С. 26—29.
3. Куликов Д. Д., Бабанин В. С. Создание параметрической модели детали в среде САД-системы // Науч.-техн. вестн. СПбГУ ИТМО. 2011. № 4 (74). С. 161—163.

Сведения об авторах

- Дмитрий Дмитриевич Куликов** — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: ddkulikov@rambler.ru
- Александр Сергеевич Сагидуллин** — аспирант; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: sagi.pochta@gmail.com
- Серж Олегович Носов** — аспирант; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: nosovserzh@gmail.com

В. С. БАБАНИН

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЕТАЛИ В СРЕДЕ CAD-СИСТЕМЫ

Рассматриваются возможности проектирования параметрических моделей деталей с помощью CAD-систем. Представлена программа, позволяющая разрабатывать параметрические модели деталей в среде CAD-системы Catia v5. Предложена методика переноса параметрической модели из CAD-системы в систему автоматизированного проектирования технологических процессов в виде XML-документа. Показана возможность использования формата SVG для интеграции в XML-документ векторной модели детали.

Ключевые слова: конструктивный элемент, комплексный элемент, параметрическая модель, XML-документ, SVG-формат.

Введение. В условиях современного рынка для повышения своей конкурентоспособности предприятия стремятся выпускать продукцию более высокого качества, меньшей себестоимости и за меньшее время, чем конкуренты. Это приводит к тому, что технологическая подготовка производства занимает все больше времени. Сократить временные затраты, стоимость проектирования и выпуска изделий позволяет внедрение на предприятии информационных технологий.

Проектирование технологических процессов имеет большое значение в реализации сквозного цикла „проектирование—производство“ с использованием современных компьютерных систем. В настоящее время уровень автоматизации проектирования этих процессов недостаточно высок вследствие некоторого информационного „разрыва“ между CAD-системами, в которых работают конструкторы, и системами автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП), в которых работают технологи [1]. Таким образом, требуется разработка методик, обеспечивающих максимально полное использование конструкторско-технологической информации об изделии в системах технологической подготовки производства.

Параметрическая модель детали. В связи с высоким уровнем развития современных CAD-систем трехмерные модели изделий могут выступать не только в качестве источника геометрической информации, но и нести конструкторско-технологическую информацию, необходимую в технологической подготовке производства. Поэтому актуальна задача разработки программных средств (трансляторов), позволяющих осуществлять автоматизированный перенос конструкторско-технологической информации из среды CAD-системы в САПР ТП.

В качестве основы для проведения исследований была выбрана CAD/CAM/CAE-система высокого уровня Catia v5, обладающая большим набором функциональных возможностей, необходимых для решения поставленных задач. В частности, в Catia v5 имеется модуль Functional Tolerancing & Annotations, позволяющий работать с трехмерными аннотациями (плоскостями обозначений и указаний, ПОУ). В ГОСТ 2.052-2006 регламентировано представление в CAD-системах трехмерных аннотаций, позволяющих производить простановку размеров и их точности, шероховатостей, параметров термообработки, покрытий, допусков относительного расположения поверхностей и т.д. непосредственно на 3D-модели детали [2]. Таким образом, согласно рекомендациям ЕСКД, получается электронная геометрическая модель (ЭГМ), обладающая всей полнотой информации, необходимой для изготовления детали. Если ЭГМ поместить в электронный архив, то можно обойтись и без чертежей деталей, что практикуют

некоторые западные предприятия. Однако необходимо решить методические и организационные вопросы, связанные с утверждением ЭГМ и проведением требуемых изменений.

Возможным способом решения задачи передачи данных из САД-системы в САПР ТП является использование нейтральных форматов IGES или STEP. Одним из последних нововведений в САД-системах является поддержка возможности сохранения трехмерных аннотаций наряду с другими элементами модели в формате STEP. Однако на современном уровне развития формата STEP трехмерные аннотации представляются пока в виде облака точек, вследствие чего распознавание конструкторско-технологических элементов и информации, представленной на трехмерных аннотациях, очень трудоемко.

Сложность задачи передачи данных из среды САД-системы в САПР ТП вызвана сложностью распознавания конструктивных элементов (КЭ), к которым привык технолог (канавки, пазы, уступы, отверстия и т.д.). Поэтому, на наш взгляд, более целесообразен подход, позволяющий совместить получение 3D-модели детали и параметрической модели детали непосредственно в среде САД-системы. В этом случае создается параметрическая модель детали — конструктивно-технологическая модель (КТМ), выраженная с помощью фреймового способа представления знаний. КТМ содержит описание детали и, в частности, описание конструктивных элементов, из которых она состоит, в форме, удобной для использования другими подсистемами АСТПП [3]. Кроме того, в КТМ содержится информация об общих характеристиках детали, об исходной заготовке, о наличии покрытий, термообработке и т.д.

КЭ представляют собой пространственные модели, которыми оперирует конструктор при проектировании деталей, они делятся на:

1) элементы „соединения“ (выпуклые элементарные тела): цилиндр, конус, сфера, выпуклый многогранник или их выпуклые части. Эти КЭ соединяются между собой в более сложные тела, при этом могут использоваться переходные элементарные поверхности (фаски, галтели, скругления);

2) элементы „отсечения“: канавки, пазы, уступы, отверстия и т.д., при их использовании производится отсечение части пространства сложного объекта поверхностями отсекающего элемента.

Каждый КЭ может быть описан с разной степенью детализации, кроме формы КЭ и его размеров могут быть указаны шероховатость поверхностей элемента, отклонения от геометрической формы, местное гальваническое или лакокрасочное покрытие, а также местная термическая обработка.

КТМ содержит описание детали на языке текстового типа, представляющее деталь как иерархическую систему фреймов (рис. 1).

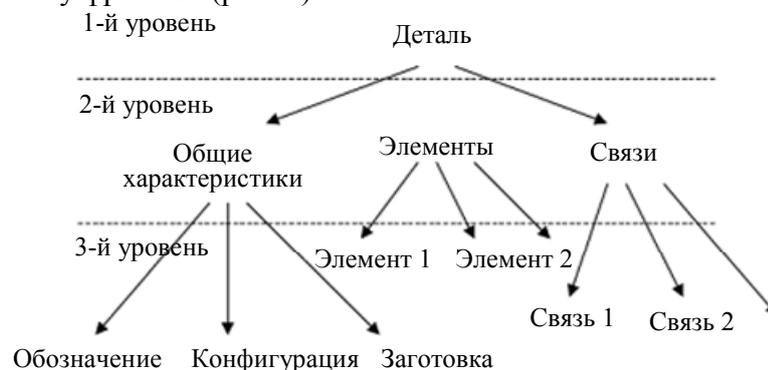


Рис. 1

Первый уровень содержит фрейм с идентификационными характеристиками детали и ссылками на второй уровень, где находятся фреймы для описания общих характеристик деталей, элементов, которые выделены в детали, и связей между ними. На третьем уровне раскрываются указанные выше фреймы с конкретным описанием детали (обозначение, конфигу-

рация, заготовка), подробно описываются все КЭ, выделенные в детали, и связи между этими элементами. Многоуровневый подход позволяет описывать КТМ с необходимой степенью детализации.

Создание электронных геометрических моделей деталей в среде САД-системы.

В качестве основы для проведения исследований использовалась система Catia v5, содержащая многофункциональную систему программирования, позволяющую разрабатывать встроенные макросы. Предложенный подход к созданию ЭГМ деталей основывается на следующих положениях:

— ЭГМ детали создается на основе библиотеки типовых параметризованных комплексных конструктивных элементов (ККЭ), т.е. элементов, форма и размеры которых зависят от введенных параметров комплексного элемента;

— для каждого ККЭ создается паттерн для ввода его параметров, файл с эскизом ККЭ и паттерн для формирования элемента как конструкторско-технологического в формате XML, содержащего также описание элемента в формате SVG;

— создание ЭГМ элемента с необходимыми ПОУ выполняется с помощью макроса, специально разработанного для среды Catia v5.

Рассмотрим работу макроса на примере комплексного элемента „цилиндр открытый“. В рабочем окне макроса пользователь может задавать значения необходимых параметров (рис. 2). Здесь же для удобства располагается схематическое изображение элемента. В рабочем окне могут быть введены номинальные значения размеров и величины отклонений, шероховатость поверхностей, допуски формы, может быть введена информация о наличии покрытий, о термообработке и т.д. После ввода параметров комплексного элемента автоматически выводится 3D-модель элемента совместно со всеми необходимыми ПОУ. ЭГМ элемента „цилиндр открытый“, автоматически сформированная на базе соответствующего комплексного элемента, приведена на рис. 3.

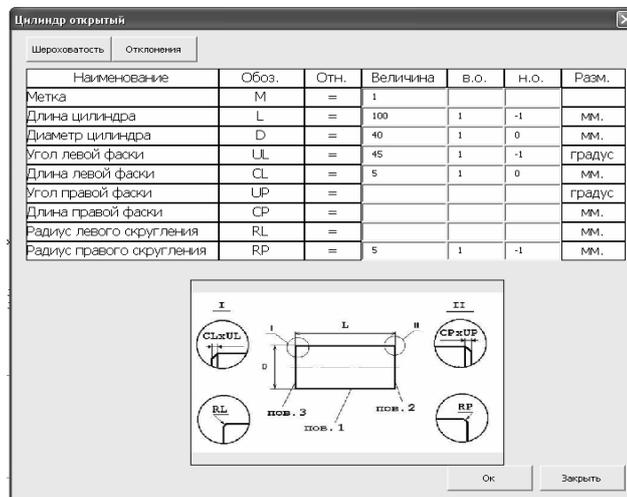


Рис. 2

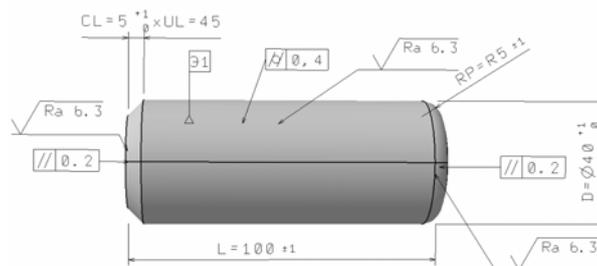


Рис. 3

Кроме предоставления информации о самом конструктивном элементе необходимо описать его связи с другими элементами — взаимное расположение, размерные (координирующие) связи между поверхностями элементов и технические требования на точность их взаимного расположения.

На рис. 4 представлена ЭГМ детали „Вал“, полученной с помощью конструктивных элементов. После проектирования детали информация о ней фиксируется в следующих файлах:

- ЭГМ, содержащая 3D-модель с ПОУ;
- ЭГМ, содержащая 2D-модель (чертеж детали);
- КТМ детали.

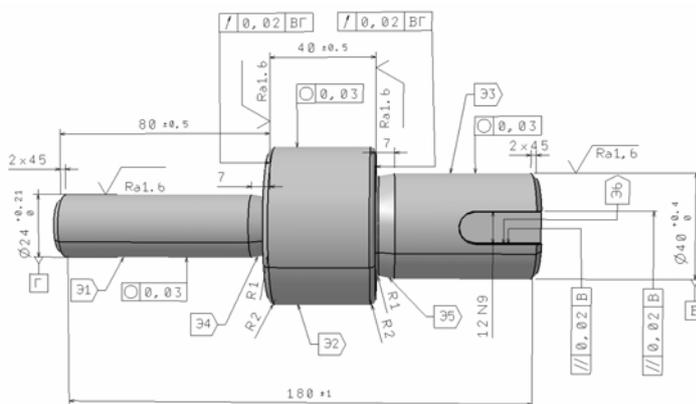


Рис. 4

Указанные модели заносятся в базу данных. Каждая запись каталога базы содержит поисковые поля и ссылки на указанные модели. Для работы с КТМ создана система ТИС-Деталь, позволяющая редактировать КТМ и использовать их при проектировании ТП [4].

КТМ детали может эффективно использоваться при проектировании технологических процессов с помощью системы ТИС-Процесс. Способы использования КТМ весьма разнообразны:

- поиск КТМ деталей-аналогов на основе поисковых полей каталога для заимствования и дальнейшего использования их технологических процессов;
- последовательная выборка КЭ из КТМ и поиск в базе знаний типовых планов обработки для них, что позволяет значительно ускорить процесс проектирования ТП;
- автоматическая выборка режимов резания и технологической оснастки для обработки КЭ из базы знаний.

Использование формата XML для КТМ. В качестве внутреннего формата для КТМ был выбран язык XML, удобный для передачи и обработки информации при решении технологических задач [5]. С системных позиций деталь представляет собой иерархический

```

<par>
  <lev1>3</lev1> <lev2>Э1</lev2> <lev3>102</lev3>
  <name>Длина цилиндра</name>
  <oboz>L</oboz>
  <otn>=</otn>
  <vel>200</vel>
  <razm>мм</razm>
</par>
<par>
  <lev1>3</lev1> <lev2>Э1</lev2> <lev3>102</lev3>
  <name>Диаметр цилиндра</name>
  <oboz>D</oboz>
  <otn>=</otn>
  <vel>40</vel>
  <razm>мм</razm>
</par>

```

Рис. 5

объект с переменной структурой, который достаточно удобно выразить в виде XML-документа, в котором КТМ описывается с любой степенью детализации. В качестве примера на рис. 5 приведена запись двух слотов для фрейма с описанием элемента Э1 (см. рис. 3). В этом фрагменте зафиксированы лишь параметры L и D для цилиндра (без указания точности размеров и шероховатости поверхности элемента). Как видно из рис. 5, в каждом слоте задаются атрибуты слота и местонахождение его в трехуровневом дереве, фиксирующем структуру детали.

Такой подход позволяет размещать слоты в КТМ в любом порядке, что весьма удобно как при формировании КТМ, так при и преобразовании КТМ детали в КТМ операционных заготовок.

Необходимо отметить, что для просмотра реальной конфигурации КЭ его модель дополняется описанием, выполненным в масштабируемом векторном формате SVG, что позволяет в системе ТИС-Деталь обойтись без просмотра ЭГМ детали. Применение указанного формата дает возможность легко менять конфигурацию КЭ, что необходимо при проектировании операционных заготовок.

Заключение. В результате проведенных исследований можно сделать важные выводы о достоинствах предложенного подхода к конструированию деталей:

— подход позволяет сократить время создания электронной геометрической модели детали и создавать ЭГМ с максимально полной информацией о детали;

— возможность быстрого автоматизированного формирования КТМ непосредственно в среде САД-системы является одним из важных направлений интеграции САД-систем и САПР ТП, так как позволяет отказаться от весьма трудоемкого ручного процесса создания КТМ;

— открывается возможность эффективного повышения уровня автоматизации в системах проектирования технологических процессов за счет быстрого и удобного доступа к информации о детали на основе использования XML-документов с КТМ детали или операционной заготовки при взаимодействии с базами знаний;

— предложенный подход создает основу для разработки методов автоматизированного проектирования операционных заготовок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куликов Д. Д., Бабанин В. С. Создание параметрической модели детали в среде САД-системы // Науч.-техн. вестн. СПбГУ ИТМО. 2011. С. 167—169.
2. Комисаренко А. Л. Создание 3D-аннотаций на виртуальной модели изделия. СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. 19 с.
3. Пиликов Н. А. Объемное проектирование изделий машиностроения с применением стандартов трехмерного документирования. Конструкторские задачи // Металлообработка. СПб: Политехника. 2010. №5 (59). С. 49—53.
4. Куликов Д. Д., Гусельников В. С., Бабанин В. С., Шувал-Сергеев Н. А. Проектирование операционных заготовок в среде САД-систем. СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. 60 с.
5. Куликов Д. Д., Шувал-Сергеев Н. А. Интеграция конструкторских и технологических САПР на основе формата 3DXML // Науч.-техн. вестн. СПбГУ ИТМО. 2008. Т. 48. С. 113—118.

Сведения об авторе

Виктор Сергеевич Бабанин

— аспирант; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: vsbabanin@mail.ru

Рекомендована кафедрой
технологии приборостроения

Поступила в редакцию
09.04.14 г.

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

УДК 621.9.62-52

Д. Д. Куликов, Н. С. КЛЕВАНСКИЙ, В. С. БАБАНИН

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ОПЕРАЦИОННЫХ ЗАГОТОВОК

Рассмотрены принципы формирования параметрических моделей деталей и операционных заготовок. Описана система формирования и редактирования конструкторско-технологических моделей деталей и заготовок. Представлены способы автоматического формирования параметрических моделей при создании 3D-моделей деталей и операционных заготовок.

Ключевые слова: конструктивный элемент, параметрическая модель, операционная заготовка, XML-документ.

Создание операционных эскизов является важным этапом проектирования технологических процессов (ТП) механической обработки заготовок. Поэтому актуальна разработка методики автоматизированного проектирования операционных эскизов. При наличии САД-системы обычный процесс создания карты операционных эскизов выполняется по следующей цепочке:

$$M3D \xrightarrow{\varphi_1} M3DOZ_i \xrightarrow{\varphi_2} M2DOZ_i \xrightarrow{\varphi_3} KOZ_i, \quad (1)$$

где $M3D$ — 3D-модель детали; $M3DOZ_i$ — 3D-модель операционной заготовки (ОЗ) для i -й операции; $M2DOZ_i$ — 2D-модель операционной заготовки для i -й операции; KOZ_i — технологическая карта с операционным эскизом (в электронном или бумажном виде) для i -й операции.

Преобразования (1) обычно выполняются для всех операций, операционные эскизы которых необходимо иметь. Наиболее сложным и трудоемким является преобразование φ_1 , когда приходится модифицировать 3D-модель детали в 3D-модель операционной заготовки. В работах [1, 2] предложен подход к проектированию ОЗ, основанный на методе добавляемых тел. Формирование 3D-модели операционной заготовки в этом методе ведется от последней операции к первой путем последовательного наслаивания материала на 3D-модель выходной заготовки:

$$M3D \xrightarrow{\varphi_1} M3DOZ_n \xrightarrow{\varphi_1} M3DOZ_{n-1} \rightarrow \dots \rightarrow M3DOZ_1 \xrightarrow{\varphi_1} M3DOZ_0, \quad (2)$$

где $M3DOZ_0$ — 3D-модель исходной заготовки.

Карта с операционным эскизом получается согласно цепочке:

$$M3OZ_n \xrightarrow{\varphi_1} M3DOZ_{n-1} \xrightarrow{\varphi_2} M2DOZ_{n-1} \xrightarrow{\varphi_3} KOZ_{n-1}. \quad (3)$$

Преобразование φ_2 выполняется в два этапа: на первом на всех моделях выходной заготовки $M3DOZ$ выполняется лишь простановка баз и операционных размеров, на втором рас-

считываются размеры и результаты расчета проставляются на всех моделях M2DOZ. Необходимость двухэтапного преобразования вызвана тем, что расчет операционных размеров возможен только в том случае, когда размеры проставлены для всех моделей заготовок [3].

Если CAD-система поддерживает аннотации (плоскости отображений и указаний), то преобразование φ_3 становится ненужным, поскольку простановка баз и операционных размеров выполняется при создании 3D-модели выходной заготовки и в эту же модель заносятся результаты расчетов операционных размеров. Далее (преобразование φ_2) автоматически получается 2D-модель выходной заготовки в виде карты операционных эскизов:

$$M3OZ_i \xrightarrow{\varphi_1} M3DOZ_{i-1} \xrightarrow{\varphi_2} KOZ_{i-1}. \quad (4)$$

Информация из моделей ОЗ используется для проектирования технологических операций, однако ее извлечение — сложная задача вследствие трудности распознавания конструктивных элементов (КЭ), которыми оперирует технолог (канавки, пазы, уступы, отверстия и т.д.). Использование нейтральных форматов типа STEP и IGES практически не облегчает задачу распознавания КЭ [4], только в некоторых САПР технологических процессов имеется аппарат частичной выборки нужной информации.

Один из возможных способов преодоления проблемы заключается в параметрическом моделировании деталей. В этом случае создается параметрическая или конструктивно-технологическая модель (КТМ), содержащая всю информацию о детали, включая КЭ. На кафедре технологии приборостроения была создана система ТИС-Деталь, в которой описание детали выражается в виде иерархии фреймов, позволяющих создавать КТМ с любой степенью детализации. Синтаксически КТМ представляет собой XML-документ, хранимый в удаленной базе знаний. Система ТИС-Деталь позволяет:

- создавать и редактировать КТМ деталей;
- выполнять поиск деталей-аналогов;
- на базе КТМ деталей формировать КТМ операционных заготовок;
- передавать в САПР технологических процессов требуемую информацию (размеры, их точность, шероховатость поверхностей и т.д.).

Система включает в себя:

- web-сервис для поиска по каталогу деталей и web-сервис для сопровождения каталога (на рис. 1 приведен фрагмент каталога базы данных с параметрическими моделями деталей, с использованием указанных в нем поисковых признаков деталей производится поиск деталей-аналогов);
- web-сервис для редактирования КТМ деталей и заготовок;
- web-сервис (библиотека процедур) для предоставления в САПР технологических процессов требуемой информации.

Наименование детали	Номер чертежа	Разработчик	Дата разработки	Класс по ЕСКД	Подкласс, группа, подгруппа, вид по ЕСКД	Группа материала	Длина детали	Ширина детали (диаметр)	Высота детали (внутренний диаметр)
Вал	Ю2527-101	Иванов А.С.	21.09.12	71	1212	101	100	30	0
Вал	Ю2529-305	Иванов А.С.	23.09.12	71	1322	102	100	18	0
Вал	Ю2528-206	Иванов А.С.	22.09.12	71	1222	100	80	30	0

Рис. 1

Система информационно состыкована с САПР технологических процессов ТИС-Процесс, такой подход позволяет существенно ускорить процесс проектирования за счет автоматизированной передачи информации в модули, решающие технологические задачи.

На рис. 2 приведена форма, с помощью которой возможно редактировать любое поле в колонке „Величина“. Аналогично выглядит и таблица для заполнения новой формы, с той разницей, что графа „Величина“ будет пустой для всех полей формы. Если информационный

запрос на поиск сформулирован следующим образом: „Найти стальные детали тела вращения с кодом по ЕСКД 712314, длиной от 19 до 20 мм, диаметром от 12 до 16 мм“, то поисковое предписание будет оформлено следующим образом (рис. 3).

Наименование	Обознач	ОТН	Величина	РАЗМ КЛАССИФ
Наименование детали	Det	=	Вал	
Номер чертежа детали	Norm	=	2527	
Разработчик	Katr	=	Иванов А.С.	
Дата разработки	Date	=	21.09.12	
Класс по ЕСКД	ESKD	=	71	70
Подкласс, группа, подгруппа, вид по ЕСКД	pESKD	=	1212	700
Группа материала	Mat	=	101	120
Длина детали	L	=	100	мм
Ширина детали (диаметр)	BD	=	30	мм
Высота детали (внутренний диаметр)	HD _{вн}	=	0	мм

Рис. 2

Наименование	Обознач	ОТН	Величина	РАЗМ КЛАССИФ
Наименование детали	Det	=		
Номер чертежа детали	Norm	=		
Разработчик	Katr	=		
Дата разработки	Date	=		
Класс по ЕСКД	ESKD	=	71	70
Подкласс, группа, подгруппа, вид по ЕСКД	pESKD	=	2314	700
Группа материала	Mat	=	101	120
Длина детали	L	=	19-20	мм
Ширина детали (диаметр)	BD	=	12-16	мм
Высота детали (внутренний диаметр)	HD _{вн}	=		мм

Рис. 3

После выполнения поиска по заданным параметрам на экран выведутся все удовлетворяющие условиям изделия. Для дальнейшего перехода к самой программе ТИС-Деталь необходимо отметить нужную строку. В этот момент система подгружает XML-документ из базы данных, соответствующий именно этой строке, т.е. выбранной детали.

Однако описание операционных заготовок в терминах КТМ, формируемых дополнительно, помимо созданных 3D-моделей ОЗ — это сложная и экономически нецелесообразная задача. Поэтому для САД-системы Catia был разработан комплекс макросов, позволяющий параллельно с формированием 3D-модели детали автоматически создавать параметрическую модель детали (КТМ_d). Пример 3D-модели детали, полученной таким образом, приведен на рис. 4.

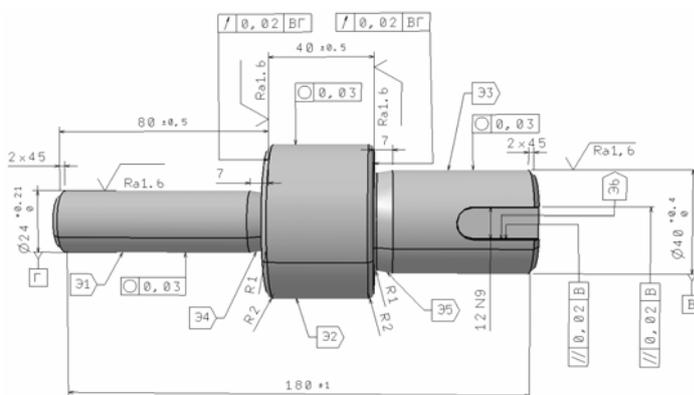


Рис. 4

Далее аналогичным образом параллельно с формированием 3D-моделей заготовок автоматически создается КТМ заготовок (преобразование φ_4). Система преобразований показана

на на рис. 5 (M2D — чертеж детали, получаемый преобразованием φ_4 из 3D-модели, индекс „0“ означает исходную заготовку).

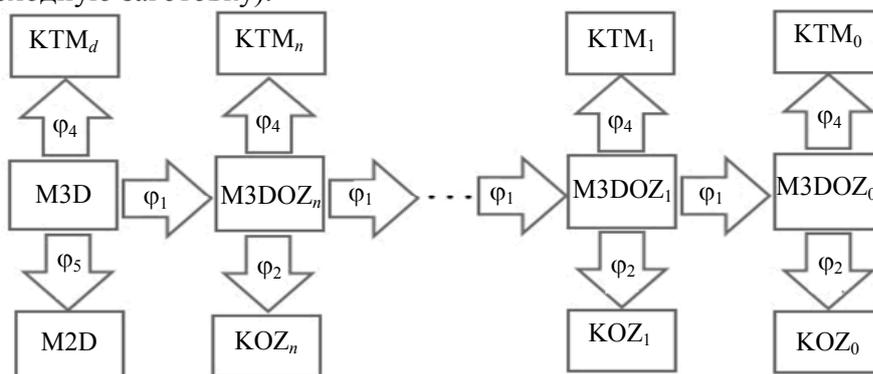


Рис. 5

Такой подход позволяет избежать дополнительного формирования КТМ деталей и заготовок. Совместное использование систем ТИС-Деталь и ТИС-Процесс дает возможность выбирать из базы знаний типовые планы обработки КЭ и, следовательно, автоматически определять те технологические переходы, которые необходимы для получения заданного конструктивного элемента, и применяемый инструмент.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куликов Д. Д., Гусельников В. С., Бабанин В. С., Шувал-Сергеев Н. А. Проектирование операционных заготовок в среде САД-систем. СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. 60 с.
2. Куликов Д. Д., Бабанин В. С. Создание параметрической модели детали в среде САД-системы // Науч.-техн. вестн. СПбГУ ИТМО. 2011. № 4 (74). С. 167—169.
3. Куликов Д. Д., Яблочников Е. И., Бабанин В. С. Интеллектуальные программные комплексы для технической и технологической подготовки производства. Ч. 7. Системы проектирования технологических процессов. СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. 64 с.
4. Комисаренко А. Л. Создание 3D-аннотаций на виртуальной модели изделия. СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. 19 с.

Сведения об авторах

- Дмитрий Дмитриевич Куликов** — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: ddkulikov@rambler.ru
- Никита Сергеевич Клеванский** — аспирант; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: NIKA-1990@yandex.ru
- Виктор Сергеевич Бабанин** — аспирант; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: vsbabanin@mail.ru

Рекомендована кафедрой
технологии приборостроения

Поступила в редакцию
09.04.14 г.

А. С. ВОСОРКИН

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Отличительной чертой композиционных материалов является зависимость свойств выполненных из них изделий от микроструктуры материала. Рассмотрены особенности изготовления таких изделий. Описаны возможности применения систем инженерного анализа и моделирования при проектировании изделий из полимерных композиционных материалов.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал, литье под давлением, САЕ-системы, численное моделирование.

В современном мире полимерные композиционные материалы (ПКМ) получили широкое распространение. В области приборостроения большим потенциалом обладают полимерные композиционные материалы, армированные коротким волокном. Изделия из таких материалов изготавливаются методом литья под давлением, что обеспечивает им хорошее сочетание технологичности и механических свойств, из них возможно получать изделия практически любых размеров и геометрической формы.

Для изделий из ПКМ по сравнению с изделиями из ненаполненных полимерных материалов характерна зависимость конечных механических свойств не только от конструкции, но и от технологических режимов изготовления, поскольку в процессе изготовления формируется сложная пространственная структура расположения волокон, которая приводит к неоднородности свойств различных фрагментов изделия. С пространственной структурой связана неравномерная усадка материала. Когда ориентация изменяется, возникают локально усадки, что приводит к появлению внутренних напряжений и возможных деформаций, это, в свою очередь, ведет к короблению изделия [1].

Традиционный подход, основанный на использовании при конструировании изделия усредненных параметров материала и не учитывающий анизотропию свойств материала в различных областях изделия, приводит к тому, что конечное изделие имеет характеристики, отличные от требуемых. Кроме того, такой подход подразумевает закладывание больших коэффициентов запаса, что, в свою очередь, ведет к увеличению массы изделия, повышению материалоемкости [2].

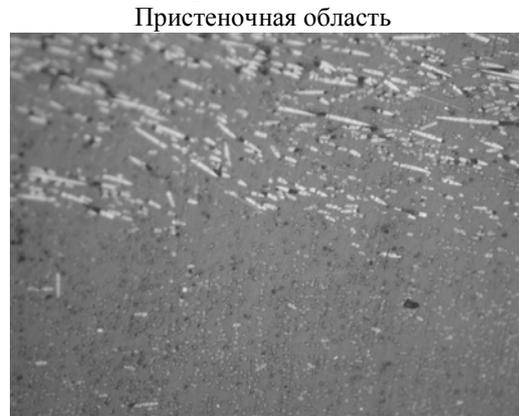
В ходе работы были проведены испытания образцов из полиэфирэфиркетона (ПЭЭК), армированного углеродным волокном (массовое содержание волокна 40 %). На термопластавтомате были изготовлены пластины размером 300×300×3 мм, из которых вырезались образцы в форме лопаток. Образцы различались ориентацией волокон относительно направления течения расплава: часть образцов была ориентирована в продольном направлении, часть — в поперечном. Испытания показали существенную зависимость механических свойств от положения образца при вырезке из пластины, в области разрыва наблюдалась ярко выраженная слоистая структура (рис. 1), которая определяет характер разрушения.

Как показывают исследования, механизмы формирования микроструктуры различны: расширение потока расплава, сдвиговые явления при заполнении формы.

Расширение потока происходит при впрыске расплава в формующую полость оснастки. Увеличение периметра фронта течения приводит к тому, что расплав подвергается эластичному расширению под прямым углом к направлению течения (рис. 2). Было определено, что

положение волокна в полости оснастки практически не зависит от его исходной ориентации (в литниковой системе).

Было установлено, что скорость потока выше всего в его середине, а по краям она уменьшается вплоть до нуля из-за адгезии с холодными стенками оснастки. Вблизи стенки существует ярко выраженный сдвиговый слой материала, в то время как в центре расплав почти не подвержен сдвигу. Армирующие волокна в среднем слое направляются „фонтанообразно“ непосредственно к стенке, подпадая под воздействие сдвига, что определяет их ориентацию вдоль направления течения (рис. 3).



Центральная область

Рис. 1

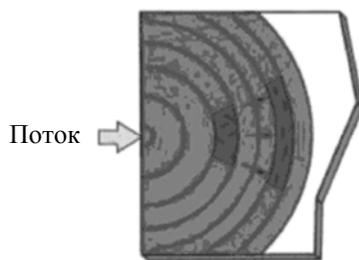


Рис. 2

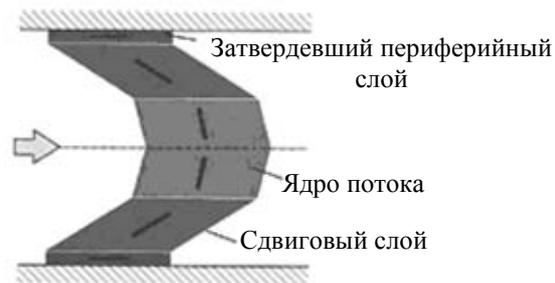


Рис. 3

Оценить влияние совокупности всех этих факторов на структуру расположения волокон, а также на жесткостные и прочностные характеристики изделия позволяют современные системы моделирования. Для проектирования конструкций из композиционных материалов необходимо опираться как на численное моделирование напряженно-деформированного состояния, так и на анализ процесса литья под давлением, это позволит подобрать оптимальные параметры изготовления.

При моделировании процесса изготовления изделий из ПКМ необходимо учитывать тензор ориентации волокон. Ориентация каждого отдельного волокна в расплаве может быть описана единичным вектором \mathbf{p} (рис. 4). В современных системах численного моделирования ориентация рассматривается как вероятностный процесс, что подтверждают микроснимки отлитых образцов: волокна никогда не выравниваются полностью.

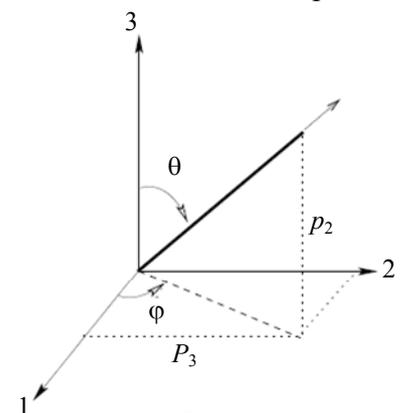


Рис. 4

Для учета этого фактора вводится функция случайного распределения ориентации $\psi(\mathbf{p})$, которая соответствует вероятности того, что волокно имеет направление \mathbf{p} . Практическое значение имеет пространственная ориентация волокна, определяемая тензорами второго порядка [2, 3]:

$$a_{ij} = \oint \psi(p) p_i \otimes p_j dp, \quad i, j = 1, \dots, 3. \quad (1)$$

Статистически тензор ориентации является моментом второго порядка поля ориентаций вектора \mathbf{p} . Тензор характеризует среднестатистическую ориентацию волокон в заданном объеме, он должен удовлетворять следующим условиям:

$$a_{ij} = a_{ji}, a_{ij} = 1. \quad (2)$$

Тензор может быть представлен в виде матрицы 6×6 :

$$\mathbf{a} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Основной интерес представляют значения тензора по главной диагонали, которые определяют степень (интенсивность) ориентации волокон вдоль одного из трех главных направлений ($11 = X$, $22 = Y$, $33 = Z$). Собственные векторы матрицы определяют направления в пространстве, вдоль которых в основном ориентированы волокна. В свою очередь, собственные числа дают количественную информацию о степени ориентации волокон в соответствующих направлениях: чем больше значение, тем выше степень ($0,3$ — случайная ориентация, 1 — ориентация строго вдоль заданного направления).

Определение тензора ориентации выполняется численно, при моделировании процесса инжекционного литья. Результаты моделирования могут быть представлены в виде картины распределения ориентации (рис. 5). Для дальнейшего исследования напряженно-деформированного состояния изделия результаты моделирования пространственной структуры могут быть переданы в системы структурного анализа. Моделирование процесса изготовления в совокупности со структурным анализом позволяет выбрать оптимальную пространственную структуру армирования, которая обеспечила бы получение необходимых прочностных и жесткостных характеристик изделия.

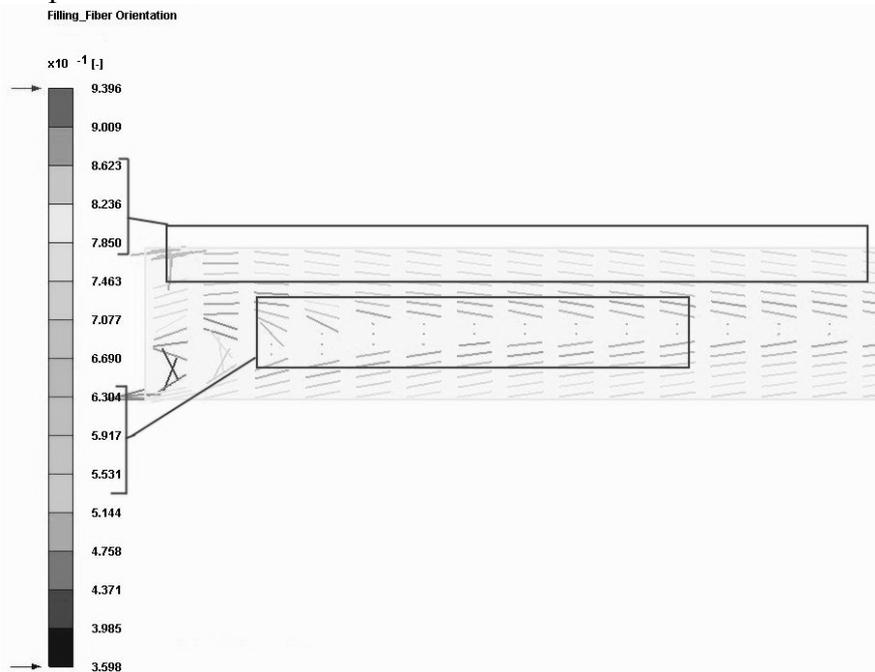


Рис. 5

Применение систем моделирования позволяет определять наилучшие параметры технологического процесса литья, а также геометрию литниковых каналов, которые обеспечили бы получение равномерной ориентации волокон по всему изделию.

Таким образом, учет пространственной структуры армирования с использованием систем виртуального моделирования позволяет более точно определять свойства ПКМ и получать качественные изделия, удовлетворяющие всем предъявляемым требованиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Plastinfo.ru. Литьевые армированные изделия: характеристики коробления [Электронный ресурс]: <<http://plastinfo.ru/information/articles/print/167>>.
2. Яблочников Е. И., Брагинский А. Б., Восоркин С. В. Применение систем виртуального моделирования при выборе и проектировании полимерных композиционных материалов // Изв. вузов. Приборостроение. 2012. Т. 55, № 7. С. 75—80.
3. Альтенбах Х., Науменко К. и др. Численное исследование влияния технологических параметров изготовления на упругие свойства коротковолокнистых композитных материалов // Вестн. НТУ „ХПИ“. Харьков, 2003. Т. 1. С. 184—192.
4. Phelps J. H., Tucker Ch. L. An anisotropic rotary diffusion model for fiber orientation in short- and long-fiber thermoplastics // J. of Non-Newtonian Fluid Mechanics. 2009. Vol. 156, is. 3. P. 165—176.

Сведения об авторе

Алексей Сергеевич Восоркин — аспирант; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: asvosorkin@gmail.com

Рекомендована кафедрой
технологии приборостроения

Поступила в редакцию
09.04.14 г.

УДК 621.363

Е. И. Яблочников, П. В. Смирнов, А. С. Воробьев

**ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ВИРТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
КОРПУСИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ**

Рассмотрены основные типы корпусов интегральных микросхем и технологии корпусирования, основанные на применении инжекционно-компрессионного литья. Указаны преимущества применения полимерных материалов для корпусирования электронных компонентов. Рассмотрены особенности применения систем виртуального моделирования технологических процессов при изготовлении корпусов различных типов.

Ключевые слова: корпус, электронный компонент, инжекционно-компрессионное литье, специализированный программный комплекс, моделирование технологических процессов.

Рассмотрим три основных типа корпусов электронных компонентов: с плоскими и вертикальными выводами, с шариковыми выводами на нижней плоскости корпуса и в форме пластины [1]. Первый тип корпусов наиболее распространен, но его главным недостатком является возможность деформации выводов в процессе формовки, тестирования и транспортировки на сборку, а также относительно большие габариты. Второй и третий типы относятся к более новым технологиям изготовления, которые активно развиваются в связи с тенденцией к миниатюризации изделий. Уменьшение размеров электронного компонента приводит к расширению областей его применения, начиная от калькулятора, часов и CD-привода и заканчивая микропроцессорами и микроконтроллерами. При корпусировании на уровне пластин основной задачей является выдерживание точности позиционирования, а при использовании корпусов с шариковыми выводами могут возникать трудности с контролем герметизации.

Во всех рассматриваемых типах корпусов используются полимерные материалы для герметизации с целью защиты элементов и компонентов интегральных микросхем от воздействия внешней среды (действия агрессивных сред, атмосферного кислорода, пыли, влаги, ме-

ханических и электромагнитных воздействий и вибрации). Комплекс мероприятий и технологических операций по герметизации обеспечивает надежность при изготовлении, хранении и эксплуатации [2, 3]. Применение полимерных материалов для герметизации связано с дальнейшей микроминиатюризацией, заменой дорогостоящих металлостеклянных и металлокерамических корпусов, экономией драгоценных металлов, возможностью совмещения различных технологических операций и автоматизации.

Различные типы интегральных микросхем герметизируют разными способами, что связано в основном с их конструктивными особенностями и объемами производства. Полимерные корпуса получили широкое распространение, несмотря на то что герметизация полимерными материалами имеет ряд недостатков: ухудшение условий теплоотвода; появление механических напряжений, возникающих при отверждении герметика; недостаточность влагостойкости вследствие сорбции влаги полимерами; подверженность процессам старения. Моделирование технологического процесса помогает на ранних стадиях создания изделия увидеть возможные проблемы и найти способы их устранения или уменьшения влияния.

Проектирование электронных компонентов требует применения современного программного обеспечения. При разработке микросистемных изделий необходимо проводить инженерный анализ физических процессов, происходящих в них. Для анализа каждого из этих процессов существуют специализированные программные комплексы: например, для анализа тепловых, механических и оптических процессов используются программные комплексы Coventor, Oofelie и Comsol. В области анализа процессов литья полимеров специализированным программным комплексом является Moldex3D [4], который позволяет решать проблемы, возникающие при изготовлении корпусов интегральных микросхем, и открывает дополнительные возможности для выбора конструкторско-технологических решений при создании литьевой формы.

Одним из возможных способов изготовления корпусов интегральных микросхем является инжекционно-компрессионное литье, основанное на введении термопластичного полимерного расплава в слегка открытую литьевую форму при одновременном или последующем пресовании с помощью дополнительного хода запирания. Используемое при инжекционно-компрессионном литье низкое давление позволяет предохранять закладные детали от повреждений. Одним из главных недостатков этого метода является недолив форм (рис. 1, а). Основной его причиной является нехватка материала, поступающего в литьевую форму (из-за низкой температуры формы или расплава и, следовательно, пониженной текучести расплава, а также по причине засорения литникового и разводящих каналов), или неправильный расчет объема впрыска. Данная проблема наиболее распространена при создании корпусов с шариковыми выводами на нижней плоскости корпуса.

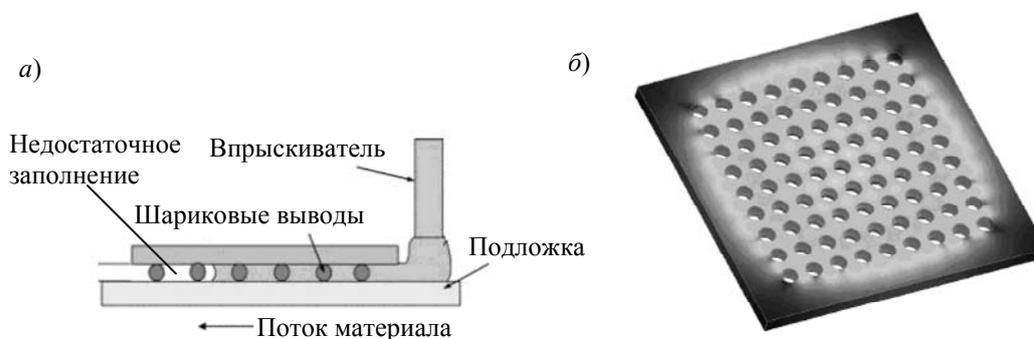


Рис. 1

Моделирование заполнения (рис. 1, б) дает возможность на стадии проектирования обнаруживать потенциальные дефекты, учитывать и устранять факторы, ведущие к недоливу, сводить к минимуму воздействия на подложку, что позволяет повысить надежность спроектированного изделия.

тированного корпуса. Важной задачей является выбор литьевой формы и расположения литниковых каналов. С помощью модуля Injection Compression Molding (ICM) системы Moldex3D имитируется процесс формообразования с последующим контролем тепловыделения, давления и однородности свойств во время процесса отверждения.

С помощью моделирования можно контролировать состояние деформации выводов корпусов с плоскими и вертикальными выводами, отслеживая равномерность потока заполнения (рис. 2).

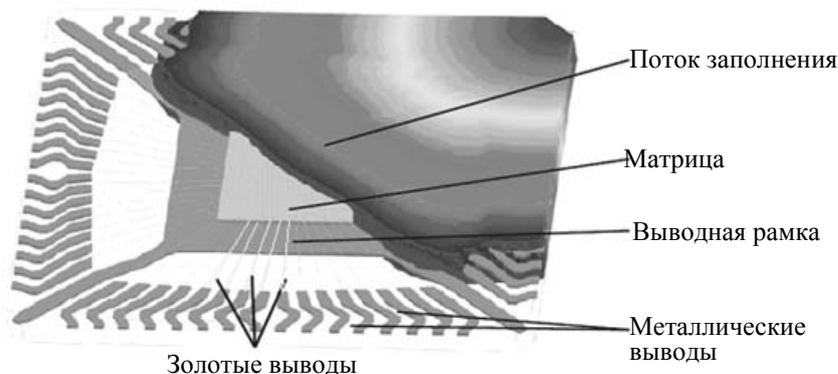


Рис. 2

Использование системы виртуального моделирования позволяет достичь требуемой точности позиционирования (рис. 3, а) при корпусировании на уровне пластин и повысить качество сжатия матрицы (рис. 3, б), что обеспечивает повышение точности проектирования и снижение вероятности возникновения короблений.

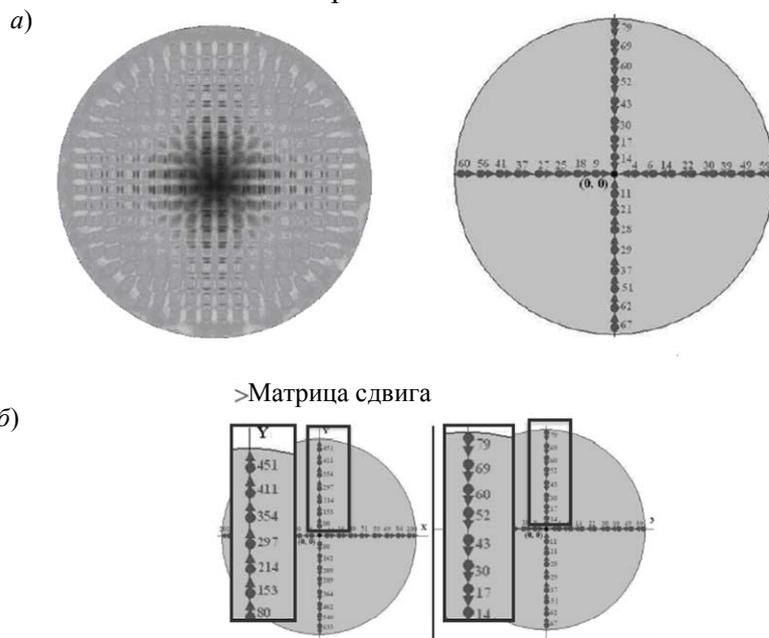


Рис. 3

Качество герметизации зависит от физико-механических свойств (плотности, теплопроводности, механической прочности, термостойкости, электроизоляционных свойств) полимеров и технологических процессов их литья. В зависимости от типа герметизируемых приборов те или иные характеристики приобретают особое значение. К параметрам технологических процессов относятся текучесть, скорость отверждения и усадка. Защитные свойства полимерного корпуса характеризуются скоростью проникновения через его материал газов и паров, количеством адсорбируемой влаги, адгезией пластмассы к металлу рамки и выводов. Поэтому помимо проведения обязательных в процессе моделирования проверочных расчетов по оценке тепловых режимов работы, анализу характеристик надежности работы и определению

обеспечения влагозащиты для повышения эффективности методов диагностирования и контроля качества герметизации полимерных корпусов (пористости, неоднородностей, трещин, инородных включений, адгезии к выводной рамке, состояния межсоединений после герметизации) применяются методы неразрушающего контроля: лазерное фотоакустическое диагностирование и рентгенотелевизионная дефектоскопия [5].

Заключение. Полученные в настоящей статье результаты необходимы для последующих исследований в области создания корпусов электронных компонентов методом инъекционно-компрессионного литья с применением специализированных программных комплексов для проведения виртуального моделирования технологических процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прищепа М. М., Погребняк В. П. Микроэлектроника. Ч. 1. Элементы микроэлектроники. М.: Высшая школа, 2004. С. 431—435.
2. Linke B. Understanding Flip-Chip and Chip-Scale Package technologies and their applications // Maxim Integrated circuits, 2007.
3. Wimer J. J. 3-D Chip Scale with Lead-Free Processes // J. Semiconductor International. 2003. N 10.
4. Яблочников Е. И., Брагинский В. А., Восоркин А. С. Применение систем виртуального моделирования при выборе и проектировании полимерных композиционных материалов // Изв. вузов. Приборостроение. 2012. Т. 55, № 7. С. 75—80.
5. Ланин В., Волкеништейн С., Ключева С. Контроль качества герметизации пластмассовых корпусов интегральных схем // Технологии в электронной промышленности. 2009. № 8.

Сведения об авторах

- Евгений Иванович Яблочников** — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; заведующий кафедрой; E-mail: eugeny@beepitron.com
- Павел Васильевич Смирнов** — аспирант; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: pavelsmirnov2011@gmail.com
- Анатолий Сергеевич Воробьев** — аспирант; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: delarge@mail.ru

Рекомендована кафедрой
технологии приборостроения

Поступила в редакцию
09.04.14 г.

В. А. КЛЕВЦОВ, К. П. ПОМПЕЕВ

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА РАЗМЕРНЫХ СВЯЗЕЙ

Рассмотрены особенности структурного анализа и синтеза при проектировании технологических процессов (ТП) автоматизированного производства, базирующегося на системном подходе к изучению и формализованному описанию объектов и процессов проектирования. Синтез структуры ТП осуществляется методом направленного поиска с постепенной детализацией и корректировкой проектных решений. При этом используется установленное соотношение функциональной подчиненности геометрических структур готового изделия его состояниям в процессе механической обработки.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, геометрические связи, механическая обработка, моделирование, синтез, системный подход, теория графов, технологический процесс.

Успешное функционирование автоматизированного производства зависит от эффективности решений, принимаемых при проектировании технологических процессов (ТП). Повышенные требования к качеству проектных решений предполагают дальнейшее развитие теории и методологии проектирования. Безусловно, актуальными являются исследования, направленные на создание методики и алгоритмического обеспечения процесса проектирования ТП механической обработки для автоматизированного производства.

Разработка алгоритмического обеспечения предполагает формализованное описание объекта и процесса проектирования на основе их всестороннего системного изучения. Конечной целью функционирования ТП механической обработки является создание технической системы „деталь“ (ТСД) [1]. Состояния, которые приобретают элементы ТСД в определенные моменты технологического процесса, отражены в модели технической системы „заготовка“ (ТСЗ), а достижение требуемого состояния элементов ТСЗ происходит в ходе функционирования технической системы „обработка“ (ТСО).

Перечисленные системы характеризуют материальное содержание объекта проектирования. Организационно-плановая структура технологического процесса, включающая такие элементы, как операция, установ, переход, определяют состав систем ТСЗ и ТСО. Поэтому комплексное описание объекта проектирования предусматривает одновременный учет материальных и организационно-плановых составляющих ТП.

Специфика технологического проектирования состоит в том, что поиск наиболее эффективного решения производится в обширном пространстве при необходимости учета множества факторов и ограничений. Это обусловило необходимость декомпозиции общей задачи и решения ее в несколько этапов, образующих иерархическую структуру. Последовательность выполнения этапов определяется заранее заданной стратегией, имеющей обратные информационные связи лишь между смежными этапами. Разработка технологического процесса (его маршрутного и операционного описания) осуществляется с постепенной детализацией и корректировкой проектных решений. Технологическое проектирование включает следующие этапы: проектирование принципиальной схемы ТП; проектирование маршрута ТП; проектирование технологических операций; разработка управляющих программ.

Реализуемый на каждом этапе проектирования системный подход предполагает выбор соответствующих математических моделей. Применительно к рассматриваемой задаче речь идет об использовании теории графов, что позволяет структурировать сам процесс проектирования

технических систем, выделяя в нем в качестве составляющих процессы анализа и синтеза структуры связей между отдельными элементами систем [2]. Моделирование с помощью графов позволяет формализовать процессы исследования, а также принятия в ходе него решений [3].

В настоящей работе представлена методика формирования структуры ТП методом ее направленного синтеза. Метод заключается в определении состава технологического процесса и назначении временных и геометрических связей между его элементами на этапах проектирования принципиальной схемы, маршрута, операции, инструментального перехода. Эффективность решений при этом определяется частными технико-экономическими показателями, обеспечивающими максимизацию технологической надежности объекта проектирования по параметрам точности и минимизацию количества технологических операций.

В случае невозможности алгоритмического получения варианта структуры ТП, эффективного по всем критериям, в методике предусмотрен поиск компромиссного решения и предлагаются способы его реализации на основе использования интерактивного диалога проектировщика с ЭВМ.

Формируемая структура ТСЗ должна удовлетворять требованиям, предъявляемым к ТСД, и учитывать возможности ТСО. Формализованное описание структур геометрических связей может быть представлено в виде графов G . На рисунке представлены варианты геометрической структуры связей между элементами (Ξ) на разных стадиях изготовления детали: a — исходная с учетом максимального сохранения структуры конструкторских связей при начале обработки заготовки с левой стороны; b — оптимальная, характеризуемая с учетом минимальных составов размерных цепей (например, $K_3=T_5-T_{12}$, по сравнению с $K_3=T_5-T_7-T_{12}$ на рисунке, a) при начале обработки заготовки с левой стороны (здесь K — конструкторский размер, T — технологический размер, z — припуск).

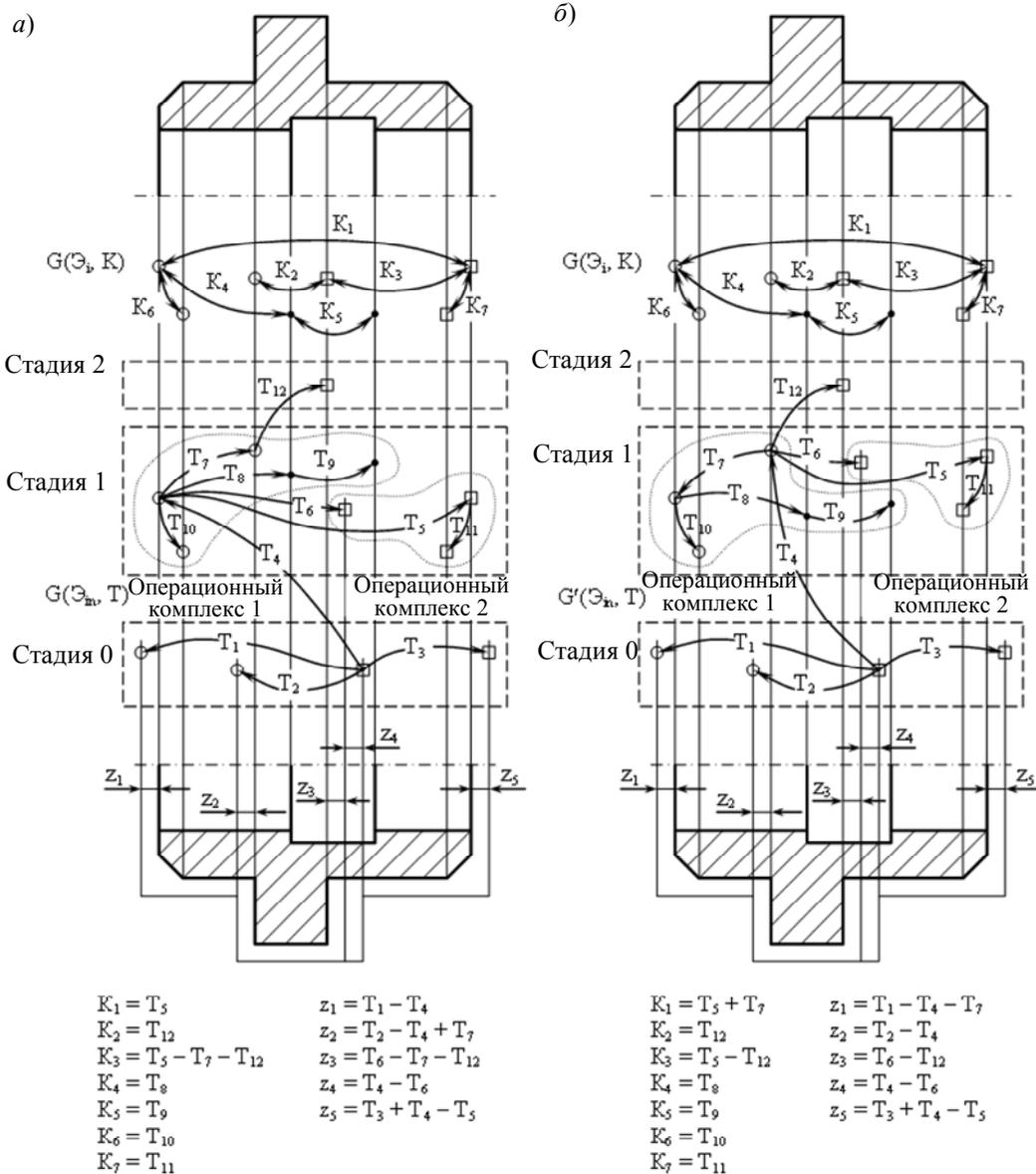
Согласно методике, на основе выявленных закономерностей соотношения систем, выполняется структурный синтез ТСЗ, который включает решение следующих задач:

- определение состава элементов системы с учетом требований, предъявляемых к объекту производства и существующей при обработке технологической наследственности;
- определение временной и геометрической структуры связей между элементами ТСЗ.

Решение указанных задач осуществляется по формализованным правилам, полученным с помощью эвристических методов. Правила предусматривают обеспечение принципа минимизации состава размерных цепей графа (см. рисунок, b), моделирующего структуру связей. Определение параметров геометрических связей и оценка возможности их достижения производятся путем составления уравнений размерных цепей с последующим их расчетом методом максимума-минимума.

Использование структурного образования — комплекса элементов, объединяемых по следующим признакам: вид элемента, стадия преобразования, геометрическая связность, расположение в конфигурации заготовки, — позволяет сократить число возможных вариантов синтезируемых структур, причем структура геометрических связей формируется постепенно путем последовательного включения в рассмотрение значимых факторов. Так, на этапе создания принципиальной схемы ТП учет фактора времени преобразования элементов в структуре ТСЗ позволяет выделить комплексы элементов, формируемых на каждой стадии (стадийные комплексы, СК), а в его структуре — стадии обработки. Каждая стадия характеризуется достижением определенного качественного уровня (состояния) элементов ТСЗ. Назначив временную структуру на этом этапе проектирования, возможно определить направленность связей между СК. При этом могут быть выявлены недостатки структуры, заключающиеся в неоднозначности базирования элементов. В качестве показателя неоднозначности базирования используется коэффициент связности вершин графа, моделирующего структуру ТСЗ.

Устранение неоднозначности базирования обеспечивается одним из следующих способов:
 — изменением временной структуры, т.е. перераспределением состава стадийных комплексов;
 — изменением геометрической структуры связей.



Для исключения необходимости полного перебора возможных вариантов методика предусматривает эвристически принятую систему предпочтений, учитывающую характеристики геометрических связей между элементами.

Если на уровне проектирования принципиальной схемы получен наилучший вариант структуры, осуществляется переход к созданию маршрута технологического процесса, на котором предусматривается:

- выделение комплекса элементов, объединяющим признаком для которых является возможность обработки в одной операции, с учетом их геометрической связности и положения в конфигурации ТСЗ;
- определение последовательности технологических операций.

Моделирующий структуру граф преобразуется при этом в направленный путем определения корня граф-дерева по установленным формализованным правилам, учитывающим отношения предпочтения среди рассматриваемых вариантов.

С целью минимизации количества необходимых технологических операций в методике предусмотрена возможность корректировки полученной ранее структуры связей.

Получение рациональной структуры на уровне проектирования маршрута позволяет перейти к этапу разработки отдельных операций. Задачи структурного синтеза, описанные выше, решаются также на этапе проектирования операций. В составе операционных комплексов ТСЗ выделяются совокупности элементов, объединенные общностью применяемого для их обработки вида инструмента (комплексы инструментальных переходов), и назначаются временные и геометрические связи между ними.

Результаты проектирования, полученные с помощью рассматриваемой методики, могут представляться в виде графа технологических размеров или в виде операционных эскизов при использовании сервисных систем автоматизированного проектирования.

Реализация описанной методики показала, что производительность труда проектировщиков повышается, при этом полученные решения в виде структуры технологического процесса гарантируют обеспечение точностных требований к изделию, представленных в конструкторском чертеже. Кроме того, значительно снижаются материальные затраты, связанные с необходимостью проведения отработки ТП по опытным и установочным партиям заготовок, а само внедрение ТП будет связано с отработкой и уточнением режимов резания при изготовлении одной-двух деталей из партии с последующим изготовлением всех деталей партии без брака [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клевцов В. А., Одицова Л. В., Помпеев К. П. Системный анализ при проектировании технологических объектов и процессов // Тр. XI Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, студентов и аспирантов „Анализ и прогнозирование систем управления“. СПб: СЗТУ, 2010. Ч. 1. С. 193—197.
2. Клевцов В. А. Некоторые итоги реализации принципа системности при техническом проектировании. Ч. 1 // Межвуз. сб. „Проблемы машиноведения и машиностроения“. СПб: СЗТУ, 2011. Вып. 41. С. 246—254.
3. Клевцов В. А. Некоторые итоги реализации принципа системности при техническом проектировании. Ч. 2 // Межвуз. сб. „Проблемы машиноведения и машиностроения“. СПб: СЗТУ, 2011. Вып. 41. С. 255—265.
4. Помпеев К. П., Лазарев Э. Е., Пинаев Д. С. Интерактивный синтез и расчет биений // Тр. 10-й сессии Междунар. науч. школы „Фундаментальные и прикладные проблемы надежности и диагностики машин и механизмов“, посвященной памяти В.П. Булатова. СПб: ИПМаш РАН, 2011. С. 334—340.

Сведения об авторах

- Владилен Андреевич Клевцов** — канд. техн. наук, доцент; Национальный минерально-сырьевой университет „Горный“, кафедра машиностроения, Санкт-Петербург; E-mail: sapr2k8@yandex.ru
- Кирилл Павлович Помпеев** — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: kirpom@rambler.ru

Рекомендована кафедрой
технологии приборостроения

Поступила в редакцию
09.04.14 г.

Д. Д. Куликов

УПРАВЛЕНИЕ ЗНАНИЯМИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Рассмотрен подход к созданию системы управления знаниями, предназначенной для технологической подготовки производства. Показаны способы организации единого информационного пространства, основанного на онтологии предметной области. Рассмотрено применение PDM-системы для создания онтологии автоматизированной системы технологической подготовки производства.

Ключевые слова: технологическая подготовка, онтология, система управления знаниями, PDM-система, предметная область, фреймы, модели деталей, модели процессов, информационные ресурсы, словарь.

Введение. В современной методологии создания автоматизированных систем технологической подготовки производства (АСТПП) технологическая подготовка считается одним из этапов жизненного цикла изделия (ЖЦИ). При этом программно-информационная поддержка этапов ЖЦИ базируется на стандартах ИПИ (информационная поддержка процессов жизненного цикла изделия; это русскоязычный аналог известного термина CALS). Исследования последних лет [1] показали, что АСТПП целесообразно рассматривать как сложную информационную, управление которой выполняется с помощью PDM-системы и в которой применяют комплексы инструментальных средств — CAD/CAE/CAM/CAPP-систем. Предполагается, что подсистемы технологической подготовки производства (ТПП) используют информацию из распределенных разнородных источников и поставляют ее в АСУ предприятия. Организация эффективного функционирования ТПП в этих условиях является важной и актуальной задачей.

Постановка задачи. Современная концепция развития АСТПП основывается на организации эффективного взаимодействия между подсистемами ТПП, возможного лишь при создании единого информационного пространства (ЕИП) и использовании современных информационных технологий. Проведенные исследования показали, что ЕИП должно включать:

- электронный архив всех видов документов;
- комплекс тезаурусов (словарей), образующих онтологию предметной области;
- 3D- и 2D-модели изделий, сборочных единиц, деталей и заготовок;
- объектно-ориентированные базы данных и знаний.

Для управления ЕИП необходима специальная система управления знаниями (СУЗ), в настоящей работе рассмотрены принципы ее создания и способы использования в АСТПП.

Под онтологией в настоящей статье понимается формальное явное описание понятий (концептов) рассматриваемой предметной области, включая свойства понятий и отношения между ними. Анализ онтологических аспектов технологической подготовки производства показал следующее. Для информационного обеспечения АСТПП характерно разнообразие объектов и процессов: детали и заготовки, сортамент материалов, технологическое оснащение, технологические процессы и др., информацию о которых необходимо использовать в технологических проектах.

В применяемых на предприятиях приложениях обычно используются собственные модели объектов и технологических процессов, а также свои базы данных. Как следствие, возникают сложности информационной интеграции подсистем АСТПП как между собой, так и с

АСУ предприятия. Отсюда возникает проблема создания ЕИП, что особенно важно в условиях накопления и активного использования баз знаний. Нерешенность вопросов, связанных с разработкой онтологий, сдерживает эффективное функционирование ТПП и требует дополнительных затрат на организацию взаимодействия всех компонентов АСТПП и АСУ предприятия. Предлагаемый подход к решению указанных проблем ТПП основан на создании системы управления знаниями, которая в дальнейшем может быть расширена и на другие этапы жизненного цикла изделия. СУЗ позволяет сформировать общую понятийную базу для АСТПП и разработать онтологическую основу для языка общения специалистов с подсистемами ТПП.

Предполагается, что система управления знаниями может быть эффективно использована для:

- накопления и повторного использования знаний на основе применения баз знаний АСТПП;
- обеспечения информационной совместимости подсистем ТПП и АСУ предприятия;
- анализа знаний при разработке моделей объектов, информация о которых циркулирует в ТПП;
- создания единого информационного пространства.

Уровни иерархии знаний. В онтологии АСТПП выделяется три уровня иерархии знаний [2]:

- 1) онтология верхнего уровня (онтология науки представляет собой совокупность „Научная инженерия“, включающую в онтологии научной деятельности и научного знания);
- 2) онтология среднего уровня (онтология предметной области представляет собой совокупность „Производство“, включающую классы понятий и отношений);
- 3) онтология нижнего уровня (онтология предметных знаний представляет собой совокупность „Предметные знания“, включающую экземпляры классов и отношений).

На рис. 2 частично приведена онтология предметной области „Производство“, характеризующая основные концепты, используемые в ТПП. На более низких уровнях иерархии больше составных концептов, например, „Инструмент“ включает в себя „Инструмент режущий“, „Инструмент вспомогательный“, „Инструмент измерительный“. Кроме вертикальных иерархических связей в этой онтологии присутствуют и горизонтальные (рис. 2).



Рис. 1

Составной частью СУЗ является „Информационный ресурс“, состоящий из информационной базы и интернет-ресурса. Информационная база содержит исходную информацию, характеризующую предметную область и необходимую не только для формирования системы

знаний, но и для проектирования и эксплуатации подсистем АСТПП: стандарты (ГОСТ, ОСТ, СП), каталоги, справочники, а также различные документы, инструкции и руководства.

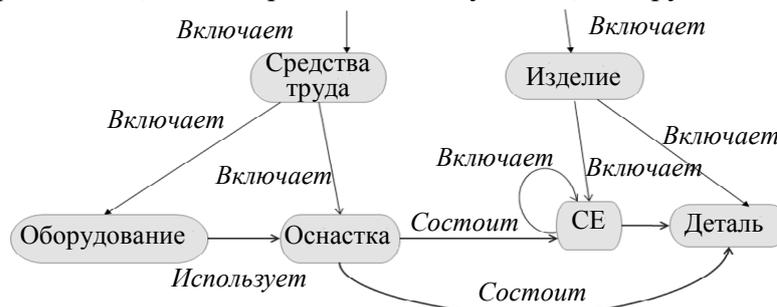


Рис. 2

Онтология языка документов (словарь) — это система языковых средств выражения онтологии предметной области. Лингвистическая информация представлена в словаре функциональными группами лексических единиц, выделенных классов понятий и набора дополнительных атрибутов, отражающих специфику выражений: синонимы, омонимы, составные понятия и т.п. В АСТПП используется достаточно много словарей различного типа для соответствующей ПО. Однако для включения в единое информационное пространство ТПП необходимо привести их структуру к единому виду.

Применение PDM-системы для создания онтологии ТПП. Важнейшей задачей при организации системы управления знаниями является выбор инструментальных средств. В настоящее время имеется достаточно много редакторов онтологий (более 100), позволяющих проектировать, редактировать и анализировать онтологии различных уровней знаний [3]. Для создания СУЗ и сопровождения онтологий была выбрана PDM-система SMARTTEAM. Выбор этой системы обусловлен тем, что она используется для управления и контроля жизненного цикла изделий и имеет необходимый набор инструментальных средств для создания СУЗ [1]. Система SMARTTEAM основана на использовании объектно-ориентированного подхода и позволяет фиксировать не только иерархию объектов, но и горизонтальные связи между ними. Эта особенность позволяет создавать онтологии предметной области ТПП, подобно тому как это делается в системе Protégé [4], при этом не привлекаются сторонние программные пакеты и все подсистемы ТПП могут активно использовать создаваемые онтологии (их может быть несколько) не только в процессе функционирования, но и в процессе обмена сообщениями для обеспечения информационной совместимости. Кроме того, могут использоваться развитые функциональные возможности самой PDM-системы, в частности, аппарат поиска по дереву проекта. Для этого был создан суперкласс *ontolog* и подчиненный ему класс *concept*. Экземпляры этого класса являются концептами и, следовательно, образуют вершину в онтологическом дереве *ontolog*.

При регистрации объекта автоматически создаются следующие закладки:

- паспорт (Profile Cart);
- логические связи (Links);
- заметки (Notes);
- версии (Revision);
- просмотр (Viewer).

В Profile Cart фиксируются идентификационные параметры: атрибут ID — уникальный идентификатор объекта, наименование (например, „длина детали“) и обозначение объекта (например, „Ld“). В закладке Links фиксируются как вертикальные, так и горизонтальные связи объекта с другими объектами. Закладка Notes содержит сведения, позволяющие зафиксировать полное описание объекта (например, задать перечень синонимов), что позволяет со временем создать полноценный тезаурус для всех концептов предметной области. Необходимо отметить, что запросы по заметкам (Notes Query) позволяют фильтровать и отображать

заметки, которые отвечают заданным критериям. В закладке Revision отображается жизненный цикл объекта, что позволяет отслеживать развитие онтологии во времени. Закладка Viewer обычно содержит атрибуты концепта, например, размерность, номер классификатора, значение по умолчанию и т.д. Эти атрибуты при открытии Viewer автоматически выбираются из словаря, который с помощью СУБД SQL Server используется подсистемами АСТПП.

Для АСТПП характерно наличие сложноструктурированных объектов, информационное согласование которых может выполняться на основе онтологии предметной области. Для моделирования таких объектов предлагается использовать фреймовое представление знаний, обеспечивающее любую степень детализации объекта и удобство работы с моделями: поиск, модификацию и др.

Моделирование деталей на основе фреймового описания знаний используется в системах, разрабатываемых на кафедре технологии приборостроения для параметрических моделей деталей (заготовок) и технологических процессов. Описания этих моделей выполняются в виде иерархии фреймов и представляют собой XML-документы. Слоты фреймов выражают параметры указанных объектов и имеют следующую структуру: $S = \langle \text{oboz}, \text{Otn}, \text{Zn} \rangle$; где *oboz* — обозначение параметра; *otn* — отношение; *vel* — значение параметра. Например, если длина детали 30 мм, то слот будет выглядеть следующим образом:

`<oboz> Ld </oboz> <otn>=</otn> <vel>30</vel>`,

здесь *oboz* фиксирует обозначение концепта „длина детали“. Слот может быть дополнен тегами с атрибутами данного концепта, которые называются „ограничениями слота“ и могут быть автоматически выбраны из словаря. Развернутый слот используется для формирования формы ввода (редактирования) данных в виде таблицы, каждая строка которой фиксирует один параметр.

Длина детали	Ld	=	30	мм	...
...
Диаметр детали	D	=	20 ±0,2	мм	...

Атрибуты тип значения (целое, действительное), длина, предельные значения и т.д., являются скрытыми и используются при вводе или редактировании значения параметра. Вместо отношения „равно“ могут быть использованы отношения порядка ($>$, \geq , $<$, \leq , \neq и т.д.), которые применяются для поиска объектов или моделирования множества объектов. Такой подход позволяет автоматически создавать шаблоны для ввода данных на основе типового паттерна, использующего словарь концептов. Это особенно важно для технологического оснащения, имеющего большое разнообразие структур хранимых данных.

Информация о средствах технологического оснащения фиксируется в реляционных базах данных. Обозначения полей в таблицах базы также характеризуют соответствующие концепты и зафиксированы в словарях СУЗ.

Заключение

1. Система управления знаниями, содержащая онтологии различного уровня, словари и информационные ресурсы, должна стать важным компонентом автоматизированной технологической подготовки производства.

2. На базе СУЗ возможны организация эффективного информационного взаимодействия систем ТПП и создание единого информационного пространства.

3. PDM-система SMARTTEAM, применяемая для контроля и управления ТПП, удобна для создания онтологии предметной области ТПП.

4. Для предметных знаний в ТПП возможна фреймовая организация знаний, при этом модели объектов могут быть выражены в виде XML-документов. Слоты фреймов характеризуют параметры объектов, и дополнительная информация для них выбирается из словаря СУЗ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яблочников Е. И. Методологические основы построения АСТПП. СПб: СПбГУ ИТМО, 2005. 84 с.
2. Боровикова О. И., Булгаков С. В., Сидорова Е. А. Система знаний информационного интернет-портала по научной тематике // Молодая информатика: Сб. тр. аспирантов и молодых ученых. Новосибирск, 2005. С. 11—19.
3. Овдей О. М., Проскудина Г. Ю. Обзор инструментов инженерии онтологий // Электронные библиотеки. М.: Институт развития информационного общества, 2004. Т. 7, вып. 4.
4. Domain M. Ontologies in Software Engineering: Use of Protégé with the EON Architecture // Methods of Inform. in Medicine. 1998. P. 540—550.

Сведения об авторе

Дмитрий Дмитриевич Куликов — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: ddkulikov@rambler.ru

Рекомендована кафедрой
технологии приборостроения

Поступила в редакцию
09.04.14 г.

УДК 004.82

С. О. Носов, А. С. Сагидуллин

ОРГАНИЗАЦИЯ МЕТАДАНЫХ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЗНАНИЯМИ

Рассмотрена модель единого информационного пространства, в которой зафиксирована связь онтологии и метаданных. Проанализированы функции метаданных в технологической подготовке производства. Предложена система управления знаниями для работы с метаданными, а также для анализа и редактирования концептуальной модели онтологии.

Ключевые слова: онтология, метаданные, модель единого информационного пространства, система управления знаниями.

Введение. На современном этапе автоматизации технологической подготовки производства (ТПП) все более важную роль играет онтологический подход. В работе [1] показано, что система управления знаниями (СУЗ) обеспечивает эффективное применение информационных технологий на всех этапах жизненного цикла изделия. С помощью СУЗ создается онтология предметной области ТПП и выполняется ее сопровождение. Для ТПП характерно большое разнообразие применяемых понятий (концептов), поэтому онтология предметной области является весьма сложной. Анализ информационных потоков показал возможность фреймового представления знания предметной области ТПП и позволил создать иерархическое дерево фреймов, содержащее несколько сотен концептов, имеющих не только вертикальные, но и горизонтальные связи.

Онтология предметной области (онтология второго уровня знаний) является основой для создания онтологии третьего уровня, т.е. онтологии предметных знаний (фреймовые представления моделей деталей, заготовок, технологического оснащения и т.д.).

Применение онтологического подхода в АСТПП обеспечивает:

- накопление и повторное использование знаний на основе применения баз знаний;
- информационную совместимость сообщений, которыми обмениваются между собой подсистемы ТПП, и при передаче информации в АСУ предприятия;
- анализ знаний при разработке моделей объектов, информация о которых циркулирует в ТПП;

- создание единого информационного пространства;
- проектирование и реинжиниринг компонентов АСТПП.

Дальнейшие исследования связаны с организацией метаданных (данных о данных), необходимых для эффективного и информационно согласованного функционирования подсистем ТПП.

Единое информационное пространство. Модель единого информационного пространства (ЕИП) является признанной в разных областях науки абстракцией, которая используется для работы с различными (не только математическими) описаниями объектов. Известно, что описание любого пространства включает:

- выбор системы координат;
- задание способа описания положения объектов в выбранной системе координат;
- задание метрики (способа вычисления) близости объектов в данном пространстве.

В соответствии с этим ЕИП (рис. 1) предлагается описывать следующим образом:

- 1) в качестве системы координат использовать онтологию предметной области;
- 2) описания объектов, содержащие знания, задавать в виде их метаданных, составленных из основных понятий онтологии;
- 3) в качестве меры близости объектов (метрики) использовать семантическую близость их метаданных [3].

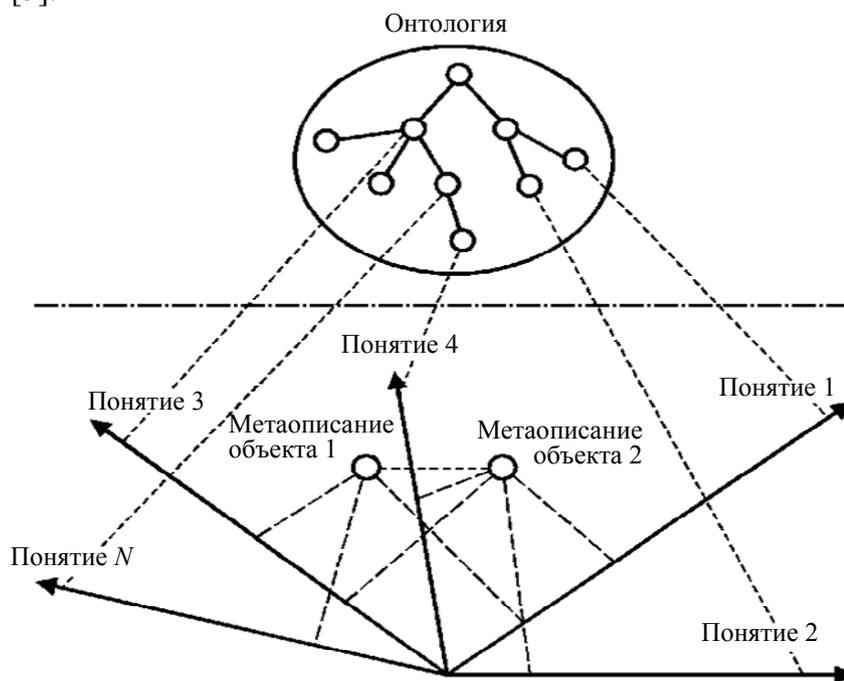


Рис. 1

Онтология, таким образом, соединяет „человеческое“ и „компьютерное“ понимание символов, или терминов (точных определений понятий).

Метаданные и онтология в СУЗ. Предназначением СУЗ является увеличение объема знаний организации и повышение уровня их использования за счет эффективного поиска и фильтрации, включения в коллективную память компании профессиональных знаний и опыта.

Метаданные — это особым образом структурированная информация, характеризующая содержание документов, информационных ресурсов и баз знаний, профилей компетенции специалистов и т.п., которая может быть полезна как пользователям, так и самой системе управления знаниями. Рассмотрим пять основных функций метаданных.

1. Отражение соответствия данных источников и данных в СУЗ. Как правило, это описание представляет собой фиксацию взаимосвязи атрибутов данных источника и атрибутов данных СУЗ. Например, информация из „Справочника технолога-машиностроителя“ Косиловой А. Г.

и справочника фирмы Sandvik описывает одну предметную область — к примеру, токарный инструмент и режимы резания, но представление данных в них различное. Поэтому в связи с разной структурой необходимо проанализировать данные и сопоставить их атрибуты.

2. Управление данными во времени. Время жизни данных в СУЗ, как правило, 5—10 лет, а то и более. Структура данных в системах со временем изменяется, например, появляется новое оборудование. Эти изменения должны быть зафиксированы в СУЗ.

3. Поддержка версионности. Метаданные должны отражать изменения внутренней структуры данных источников и, следовательно, должны сами изменяться, для того чтобы отражать историю изменения структуры данных СУЗ. Этот процесс связан с тем, что подсистемы АСТПП непрерывно развиваются, появляются новые варианты решения тех или иных задач. Например, в случае изменения входных данных при выборе режущего инструмента метаданные должны отразить изменения внутренней структуры.

4. Интерпретация данных в терминах бизнес-пользователей. Метаданные должны поддерживать в запросах понятную для пользователя терминологию. Для этого используется атрибут наименование, который отображает информацию об объекте в понятном виде для обычных пользователей (рис. 2).

...	Наименование	Внутреннее представление переменной	...
...	Диаметр детали	D.d200	...

Рис. 2

5. Обеспечение открытости данных в СУЗ для ее интеграции с другими системами путем обращения к метаданным СУЗ с целью выявления структуры требуемых данных. Такой процесс накопления знаний важен для совершенствования бизнес-процессов ТПП.

На наш взгляд, в качестве инструментария для работы с метаданными целесообразно использовать PDM-систему SMARTTEAM, которая позволяет:

- задавать необходимую структуру баз данных (баз знаний) и сопровождать их;
- следить за сопровождением баз данных (баз знаний), кто, когда и какие изменения внес;
- выполнять поиск необходимой информации в проекте на основании запросов;
- производить интеграцию с разными системами и их приложениями.

Система SMARTTEAM позволяет создавать концептуальную модель онтологии (КМО). КМО создается в следующей последовательности:

- выделение базовых концептов ТПП;
- определение уровней абстракции и распределение по ним концептов;
- построение связей между концептами — определение отношений и взаимодействий базовых понятий.

Создание КМО — длительный процесс, и применение системы SMARTTEAM позволяет удобными способами редактировать онтологическое дерево: добавлять или удалять вершины; менять как атрибуты концептов, так и их горизонтальные связи; отслеживать создаваемые версии концептов.

СУЗ позволяет повысить уровень использования знаний организации за счет эффективного поиска, фильтрации, включения в коллективную память компании профессиональных знаний и опыта каждого сотрудника, а также предоставляет эффективную среду для профессионального общения, опирающегося на понятия метаданных и онтологий предметных областей [3].

Заключение

1. Концептуализация предметной области ТПП позволяет решить широкий круг задач, связанных с АСТПП.

2. Концептуализация предметной области ТПП должна быть представлена в виде модели единого информационного пространства, которая описывает связь онтологии и метаданных в ТПП.

3. В качестве инструментария для работы с метаданными, а также для анализа и редактирования КМО рекомендуется система для контроля и управления ТПП — SMARTTEAM.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васильев И. А.* Методы и инструментальные средства построения семантических WEB-порталов: Дис. ... канд. техн. наук. СПб, 2006.
2. *Гаврилова Т. А.* Онтологический подход к управлению знаниями при разработке корпоративных систем автоматизации // *Новости искусственного интеллекта.* 2003. № 2.
3. *Тузовский А. Ф., Чириков С. В., Ямпольский В. З.* Системы управления знаниями (методы и технологии). Томск: НТЛ, 2005.
4. *Онтологии и тезаурусы: модели, инструменты, приложения / Б. В. Добров, В. В. Иванов, Н. В. Лукашевич, В. Д. Соловьев,* М.: БИНОМ, 2009.
5. *Туманов В. Е., Маклаков С. В.* Проектирование реляционных хранилищ данных. М.: Диалог-МИФИ, 2007.
6. *Лапшин В. А.* Онтологии в компьютерных системах. М.: Научный мир, 2010.

Сведения об авторах

Серж Олегович Носов

— аспирант; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: nosovserzh@gmail.com

Александр Сергеевич Сагидуллин

— аспирант; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: sagi.pochta@gmail.com

Рекомендована кафедрой
технологии приборостроения

Поступила в редакцию
09.04.14 г.

И. Н. РЯБЧИКОВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШАБЛОНОВ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ИЗМЕРЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗАГОТОВКИ

Рассматривается методика создания шаблонов управляющих программ измерения, основанная на использовании конструкторско-технологической модели заготовки. Приведены общие правила создания шаблонов и их настройки для управляющей программы измерений.

Ключевые слова: конструкторско-технологическая модель заготовки, управляющая программа измерений, комплексный шаблон, типовой шаблон.

В последнее время появляется все больше устройств, содержащих детали сложной конструкции, в процессе изготовления которых необходимо осуществлять контроль линейных и угловых размеров, отклонений от формы и взаимного расположения поверхностей, что является весьма сложным и трудоемким процессом [1]. Для обеспечения таких измерений на предприятиях применяются современные контрольно-измерительные машины (КИМ), позволяющие не только ускорить процесс контроля, но и заменить множество стандартных измерительных инструментов. Сложность использования КИМ состоит в необходимости разработки высококвалифицированными специалистами трудоемких управляющих программ (УП) измерений. Указанные особенности препятствуют эффективному использованию КИМ на промышленных предприятиях, особенно в условиях большой номенклатуры изделий. Таким образом, задача автоматизации процесса разработки управляющих программ измерений является весьма актуальной [2].

В настоящей работе исследована методика автоматизированного проектирования УП для КИМ с помощью комплексных программных шаблонов (КПШ) с использованием контрольно-измерительной машины Dea Global. Предлагаемая методика основана, во-первых, на использовании комплексных шаблонов УП и, во-вторых, на применении конструкторско-технологических моделей заготовок (КТМ).

КПШ хранятся в базе знаний и представляют собой части УП, записанные на внешнем языке, которые могут быть настроены на измерение конкретного параметра с учетом движения измерительного щупа по заданной методике. Параметризация КПШ и получение рабочей УП по заданному шаблону должны выполняться на основе 3D-модели заготовки.

Использовать 3D-модель для настройки шаблонов напрямую достаточно сложно, поэтому для доступа к информации об измеряемой заготовке был выбран подход, основанный на применении КТМ. Система создания КТМ разработана на кафедре технологии приборостроения. КТМ получается автоматически после создания 3D-модели заготовки в системе Catia. Модель содержит все необходимые для настройки КПШ данные о конструкторских элементах, импортированные из 3D-модели. Пример вывода информации о конструктивных элементах в системе ТИС-Деталь приведен на рис. 1.

Анализ показал, что УП можно условно выделить блоки, содержащие данные:

- о вспомогательных движениях щупа;
- о движении щупа в соответствии с методикой ощупывания элементов, а также о расположении точек на поверхностях, для которых выполняются измерения;

- о дополнительных построениях;
- о контролируемых параметрах.



Элемент № 301: Отверстие открытое справа

Наименование	Обозн.	Отн.	Вел.	Разм.
Глубина	L	=	20h11	мм
Диаметр	D	=	10H7	мм
Длина правой фаски	CP	=	0	мм
Угол правой фаски	UP	=	0	градус
Радиус правого скругления	RP	=	0	мм
Радиус скругления левой галтели	GL	=	0	мм
Радиус сферического торца слева	RL	=	0	мм
Шероховатость пов.1	Rz	=	25	мкм
Координата X	KX	=	30	мм
Координата Y	KY	=	0	мм
Координата Z	KZ	=	0	мм
Угол оси X/Y	A:XY	=	0	градус
Угол оси Z/Y	A:ZY	=	90	градус

Рис. 1

При индивидуальном проектировании программы измерений основное затраченное время приходится на указанные блоки. Согласно предложенной методике, база знаний содержит библиотеку КПШ, каждый из которых привязан к соответствующему конструктивному элементу (отверстие, цилиндр, паз, канавка и т.д.). Каждый КПШ содержит записанные на внешнем языке указанные блоки, называемые типовыми шаблонами. Их настройка выполняется на основе представляющей собой части УП информации о конструктивном элементе заготовки, для которого выбран данный КПШ, в следующей последовательности.

1. Информация о вспомогательных движениях шупа при подходе к точкам измеряемого элемента — путь подхода/отхода. Для определения элемента используется метка, для выбора безопасного подхода шупа к измеряемой точке используются габаритные размеры элемента и данные о расположении его относительно базовой системы координат (координаты нулевой точки и наклон оси — отверстие или вал), т.е. шуп должен подходить к точке с открытой стороны элемента параллельно оси отверстия (вала, паза и т.д.) или перпендикулярно плоскости. Если точки измеряемого элемента находятся с внутренней стороны, то шуп должен проходить от его стенок на расстоянии $1/3$ наименьшего диаметра (ширины).

2. Информация о движении шупа в соответствии с методикой ощупывания элементов, а также информация о расположении точек на поверхностях, для которых выполняются измерения (о расположении и числе точек, необходимых для контроля заданных параметров элемента, а также способе их ощупывания). Для контактных измерений элементов существуют определенные методики, например, при ощупывании гладкого отверстия достаточно трех точек в верхнем поперечном сечении для определения его диаметра и двух — в нижнем поперечном сечении для определения направления оси. Число точек зависит от измеряемых параметров элемента. Положение точек рассчитывается по данным, полученным из КТМ о расположении элемента относительно базовой системы координат с учетом используемой методики. Для предотвращения столкновений также используются данные о взаиморасположении и габаритных размерах других элементов детали относительно контролируемого, т.е. определяются „мертвые зоны“, внутри которых исключается расположение точки и передвижение шупа.

3. Информация о дополнительных построениях (о теоретических элементах, рассчитанных на основе реальных элементов заготовки и необходимых для контроля некоторых размеров). Данный блок УП содержится в комплексном шаблоне и не требует какой-либо доработки.

4. Информация о контролируемых (согласно техническому заданию) параметрах. На основе всех заданных в КТМ параметров элементов заготовки автоматически генерируется код их расчета в УП.

Заполненные шаблоны всех элементов записываются в УП (рис. 2). Все текущие шаблоны, содержащиеся в комплексном шаблоне, в УП связаны между собой меткой, которая присваивается каждому конструктивному элементу.

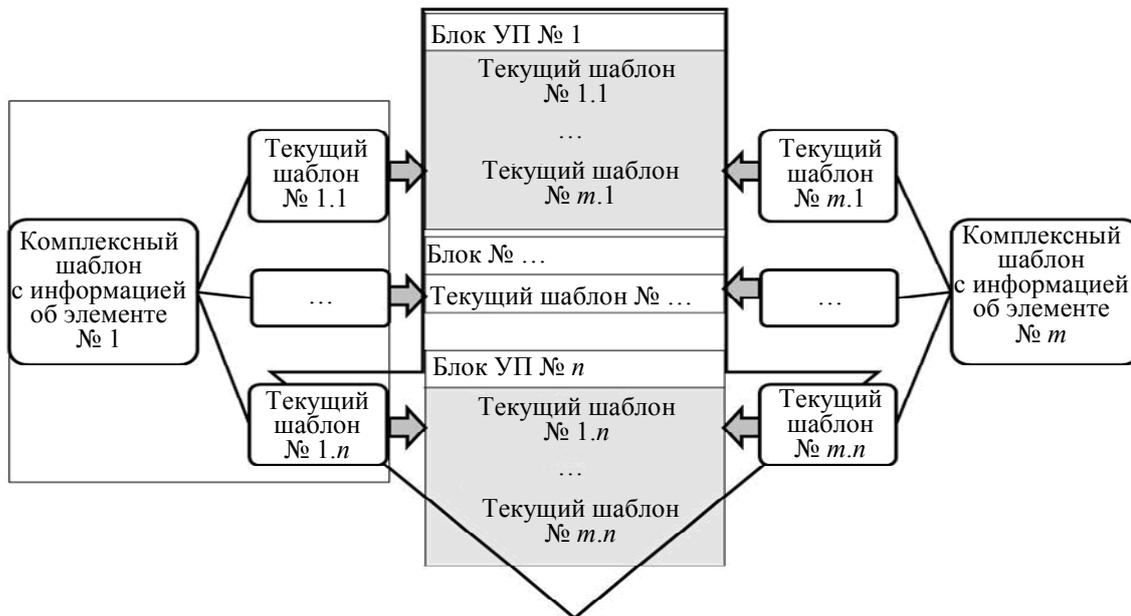


Рис. 2

Создание УП на основе шаблонов значительно сокращает время при ее написании, а также упрощает использование программного обеспечения КИМ и исключает случайные ошибки оператора. В процессе разработки по предложенной методике проектирования шаблонов управляющих программ измерения на основе конструкторско-технологической модели заготовки появляется возможность пополнения базы данных шаблонов, а также корректировки их под конкретные задачи предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рабинович В. И., Цапенко М. П. Информационные характеристики средств измерения и контроля // Библиотека по автоматике. Вып. 302. М.: Энергия, 1968.
2. Андреев В. С., Богомолов А. А., Бухалов Р. С. Интеграция разнородных устройств в АСУТП // Автоматизация в промышленности. 2014. № 1.

Сведения об авторе

Иван Николаевич Рябчиков

— аспирант; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: riabchikov@mail.ru

Рекомендована кафедрой
технологии приборостроения

Поступила в редакцию
09.04.14 г.

ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ОЦЕНКА ИХ МИКРОГЕОМЕТРИИ

УДК 621.179.118.2

В. А. ВАЛЕТОВ, Е. А. ФИЛИМОНОВА

ПРИМЕНЕНИЕ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ ДЛЯ ОЦЕНКИ МИКРОГЕОМЕТРИИ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Представлен перспективный метод оценки и контроля микрогеометрии поверхности. Приведены результаты технологических исследований на основе данного метода.

Ключевые слова: микрогеометрия, автоматизированный контроль, непараметрический критерий.

Выбор оптимальной для конкретных условий микрогеометрии позволяет существенно повысить качество поверхностного слоя изделия. Для полного описания профиля поверхности как случайной величины требуется от 3 до 25 параметров [1], но обычно при нормировании чаще всего используется один критерий (R_a или R_z). Еще в 1976 г. было предложено для оценки микрогеометрии использовать так называемые непараметрические критерии, а именно графические изображения различных функций: в простейшем случае — это графики функции распределения ординат и тангенсов углов наклона или кривая Аббота, в более сложных — функции плотности распределения ординат и тангенсов углов наклона профиля [2].

Рассмотрим возможности применения этого метода для исследования влияния амплитуды колебаний A инструмента на шероховатость поверхности при импульсном фрезеровании (производилась дополнительная осцилляция инструмента). Обработка титановых образцов производилась на прецизионном вертикальном центре Realmeca RV-2 5A SP с использованием концевой твердосплавной фрезы диаметром 6 мм. Охлаждение выполнялось с помощью эмульсии. Образцы фрезеровались при следующих параметрах обработки: подача — 450 мм/мин, частота вращения — 90 000 об/мин, глубина резания — 0,5 мм. Значение амплитуды изменялось от 10 до 25 мкм с шагом 5 мкм.

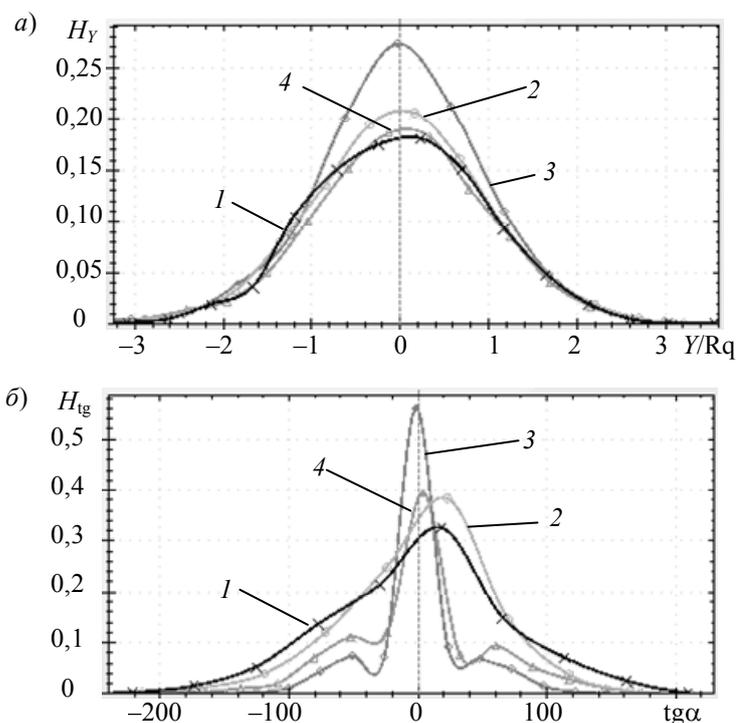
Далее все полученные профили поверхности подвергались фильтрации с помощью прямого и обратного фурье-преобразования.

Некоторые параметры шероховатости образцов приведены в таблице.

**Параметры шероховатости титановых образцов,
обработанных методом импульсного фрезерования**

Образец	A , мкм	R_a , мкм	R_z , мкм	R_q , мкм	R_{max} , мкм	R_{Sm} , мм
1	10	0,562	3,26	0,691	5,06	0,086
2	15	0,330	2,16	0,414	3,37	0,069
3	20	0,268	1,73	0,337	3,45	0,090
4	25	0,404	2,54	0,505	4,19	0,085

Для автоматизации процесса контроля и оценки микрогеометрии с помощью непараметрических критериев в среде Microsoft Visual Studio 2008 была разработана программа [3, 4]. На рисунке приведены полученные графики плотности распределения ординат образцов, обработанных методом импульсного микрофрезерования (а; H_Y — отношение числа ординат данной величины к общему количеству ординат; Y — высота текущей ординаты профиля, мкм; Rq — среднеквадратичное отклонение профиля от средней линии, мкм; цифры у кривых — номер образца), и тангенсов углов наклона профилей образцов (б; H_{tg} — отношение количества тангенсов углов наклона данной величины к общему количеству тангенсов; $tg\alpha$ — тангенсы углов наклона профиля).



По форме графиков плотности распределения ординат и тангенсов углов наклона можно установить, что значение амплитуды импульсов влияет на микрогеометрию поверхности, причем это влияние носит циклический характер.

Исследования показали, что микрогеометрия поверхности в значительной степени зависит от амплитуды осцилляции инструмента, о чем свидетельствует существенное различие графиков, соответствующих разным значениям амплитуды колебаний инструмента. Используя разработанную программу, можно выявить влияние других параметров обработки на шероховатость поверхности, затем для этих параметров рассчитываются графические критерии. Полученные значения заносятся в базу данных для дальнейшего использования в технологических исследованиях. Описанная методика позволяет решать как практические, так и исследовательские задачи в области контроля и оценки микрогеометрии поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валетов В. А. Возможные критерии оценки шероховатости обработанных поверхностей // Сб. тр. Ленинградского кораблестроительного института. 1976.
2. Валетов В. А., Иванов А. Ю. Непараметрический подход к оценке качества изделий // Металлообработка. 2010. № 6 (60). С. 55—59.
3. Валетов В. А., Филимонова Е. А. Программа автоматизированного контроля микрогеометрии поверхностей с помощью непараметрических критериев // Металлообработка. 2011. № 5. С. 45—46.

4. Программа автоматизированного контроля микрогеометрии поверхностей с помощью непараметрических критериев / Е. А. Филимонова, В. А. Валетов. Рег. № 2011613843. 18.05.2011.

Сведения об авторах

- Вячеслав Алексеевич Валетов** — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: valetov.v@mail.ru
- Елена Алексеевна Филимонова** — Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; инженер-исследователь; E-mail: chiffa44@gmail.com

Рекомендована кафедрой
технологии приборостроения

Поступила в редакцию
09.04.14 г.

УДК 621.81.004.17: 620.191.355.001.5

Д. Б. ЛЕОНОВ, А. Ю. ИВАНОВ

ВОЗДЕЙСТВИЕ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

С использованием непараметрических критериев оценки и контроля шероховатости поверхностей проведено исследование эксплуатационных свойств (коррозионной стойкости и адгезии лакокрасочных покрытий) поверхности.

Ключевые слова: шероховатость поверхности, непараметрические критерии, коррозионная стойкость, адгезия.

Введение. Ко многим деталям машин предъявляются высокие требования по хранению и эксплуатации в разных климатических условиях. В связи с этим поверхности деталей необходимо надежно изолировать от воздействия агрессивных сред, которое может привести к возникновению коррозии и к ухудшению качества деталей (снижению надежности и долговечности). Необходимость обеспечения коррозионной защиты обуславливает целесообразность исследования качества поверхностного слоя деталей.

Получаемый нерегулярный профиль поверхности в основном содержит случайную составляющую (вследствие влияния множества факторов в процессе формирования шероховатости поверхности), которая не позволяет проводить полную оценку микрогеометрии поверхности с использованием всего лишь одного числового параметра. Обоснованное таким образом допущение, согласно которому шероховатость поверхности — реализация случайного поля, доказывает целесообразность применения так называемого непараметрического метода [1—3] для оценки шероховатости. В основе этого метода лежит использование в качестве критериев графических изображений различных функций — функции распределения и плотности распределения ординат профиля и тангенсов углов наклона профиля.

Исследуемый образец и постановка эксперимента. В качестве объекта исследования был использован стальной корпус детали типа „труба“, технологический процесс получения которой включает обработку точением, проводимую при разных режимах резания.

С целью выявления влияния шероховатости поверхности на ее функциональные свойства (коррозионную стойкость и адгезию лакокрасочного покрытия) был проведен эксперимент:

—из материала Сталь 40 были изготовлены одинакового размера образцы (три группы по 10 штук), но с разной шероховатостью поверхности. Различная шероховатость достигалась использованием разных режимов технологической обработки;

- с поверхности всех образцов были сняты данные о шероховатости, после обработки которых были получены стандартные параметры шероховатости и их оценки на основе непараметрических критериев;
- все образцы были подвергнуты одинаковому функциональному воздействию с фиксированием полученных результатов;
- для каждого функционального свойства поверхности был проведен процесс оптимизации, построенный в соответствии с теорией планирования эксперимента;
- были получены эталонные шероховатости поверхности, контроль которых было предложено проводить с использованием непараметрических критериев.

Результаты и методы исследования

Коррозионная стойкость. Образцы (по 5 из каждой группы) погружались в 3 %-ный раствор NaCl на 10 мин с последующей просушкой. Затем проводилась оценка состояния поверхности образцов согласно ГОСТ 9.908-85 [4], путем замера площади каждого пятна предполагаемой коррозии.

После трех циклов погружения и просушки были получены следующие результаты для образцов:

- 1-я группа — пятна занимали 5,5 % от исследуемой поверхности;
- 2-я — 2,8;
- 3-я — 0,5 %;

Чтобы установить факт коррозии, на образцы наносили специальный раствор [4]. При наличии коррозии исследуемое место меняло цвет с розового на красный. При отсутствии коррозии цвет не менялся.

Адгезия лакокрасочного покрытия. Исследовались оставшиеся 15 образцов. Согласно требованиям по формированию адгезионного контакта между пленкой краски и подложкой [5], поверхность образцов перед нанесением покрытия была обезжирена и промыта. На внешнюю поверхность образцов был нанесен эмалевый лак комбинированный карбамидный.

После нанесения покрытия согласно ГОСТ 15140-78 [6] проверка качества адгезии проводилась с использованием метода решетчатых надрезов исследуемой поверхности образца (рис. 1; 1-я группа — 3 балла, 2-я — 4, 3-я — 2).

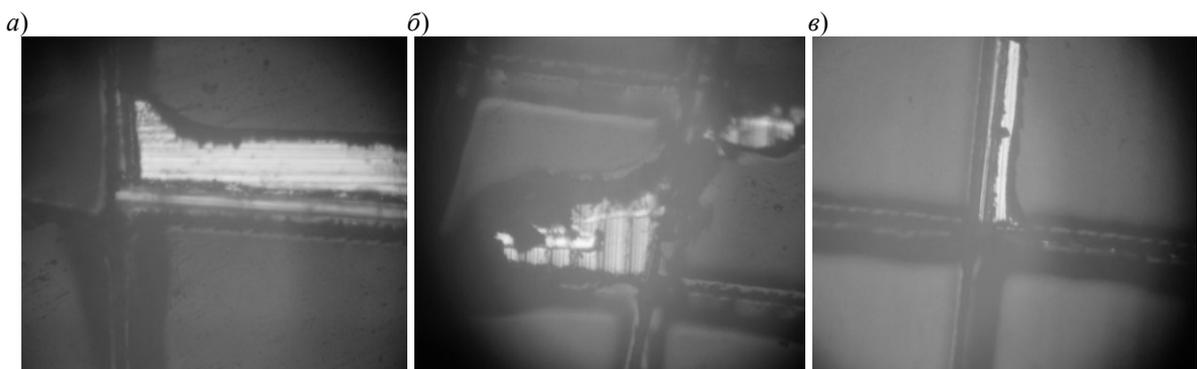


Рис. 1

Полученные результаты позволили продолжить исследование влияния шероховатости на функциональные свойства поверхности.

Анализ полученных результатов. На этом этапе была использована теория планирования эксперимента [7]. Оптимизация проводилась путем определения наилучшего уровня функционального воздействия на поверхность детали, изготовленной из Стали 40 (параметры оптимизации) при различных режимах обработки поверхности образцов (факторы оптимизации).

Проведенный статистический расчет позволил получить:

— адекватные (по критерию Фишера) математические модели процесса, описывающие связь между параметрами и факторами оптимизации: математическая модель для степени поражения поверхности коррозией $G = 1,55 + 1,01S + 0,45t + 0,48St + 0,29Vt + 0,25SVt$ (S — подача; V — скорость резания; t — глубина резания) математическая модель для степени адгезии: $A = 3,375 + 0,75S - 0,75V + 0,375t$;

— технологические режимы обработки, при которых обеспечиваются наилучшие уровни функционального воздействия: обеспечение наименьшей степени поражения поверхности детали коррозией: $S = 0,9$ мм/об, $V = 175$ м/мин, $t = 0,65$ мм; обеспечение наименьшей степени адгезии лакокрасочного покрытия: $S = 1,3$ мм/об, $V = 180$ м/мин, $t = 0,70$ мм;

— наилучшую для конкретных производственных условий (эталонную) шероховатость, обеспечивающую требуемые функциональные свойства поверхности детали. На рис. 2 приведены эталонные графики „Плотность распределения ординат профиля“ с допуском на возможные отклонения для шероховатости поверхности стальных деталей, обеспечивающих: a — наилучшую коррозионную стойкость, b — наилучшую адгезию лакокрасочного покрытия.

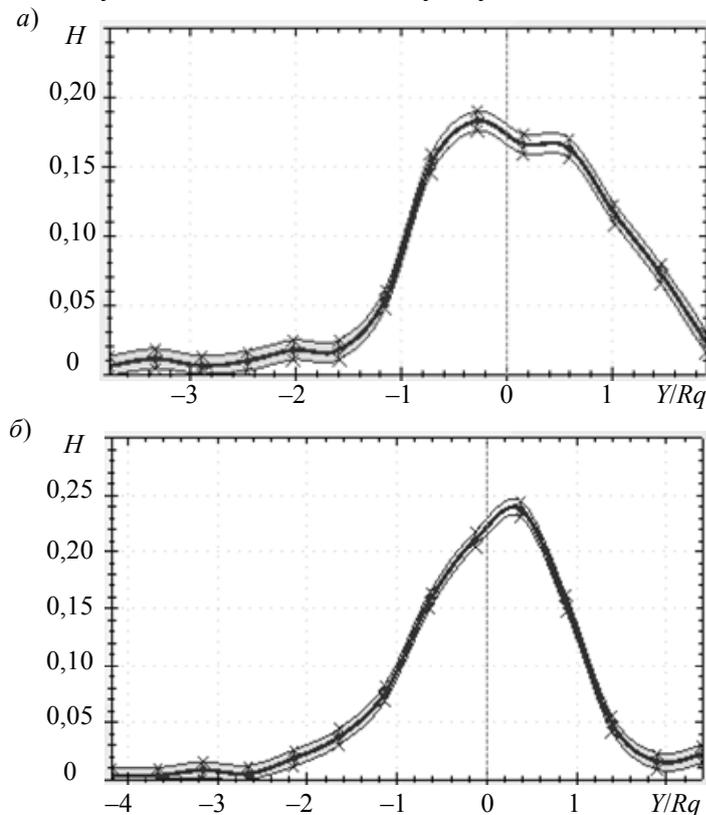


Рис. 2

Заключение. Проведенное исследование позволило выявить зависимость коррозионной стойкости и адгезии детали из материала Сталь 40 от шероховатости поверхности. Так как приведенные графики (для одной и той же поверхности — рис. 2, a b) отличаются друг от друга, было предложено определить приоритетное из этих двух свойств применительно к данной детали и использовать его в качестве эталона. В рассматриваемом случае приоритетным свойством поверхности была определена адгезия лакокрасочного покрытия как наиболее надежный критерий антикоррозийной защиты поверхности стальной детали.

В качестве эталона для эксперимента был выбран график на рис. 2, b . Исследовалась коррозионная стойкость образцов на режимах, обеспечивающих получение шероховатости поверхности по описанной в статье методике. Результаты исследований показали снижение коррозионной стойкости на 23 % по сравнению с наилучшими результатами. Такие результа-

ты приемлемы, так как хорошее сцепление лакокрасочного покрытия с поверхностью детали из Стали 40 обеспечивает требуемую защиту от коррозии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мусалимов В. М., Валетов В. А. Динамика фрикционного взаимодействия. СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. 191 с.
2. Ivanov A. Y., Leonov D. B. Methodology for optimization, evaluation and control of products surface roughness // J. of the Technical University. Sofia: Fundamental Sciences and Applications. 2012. Vol. 17. P. 19—23.
3. Иванов А. Ю., Леонов Д. Б. Технологические методы обеспечения качества изделия // Науч.-техн. вестн. СПбГУ ИТМО. 2011. № 5 (75). С. 111—113.
4. ГОСТ 9.908-85. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости.
5. Зимон А. Д. Адгезия пленок и покрытий. М.: Химия, 1977. 351 с.
6. ГОСТ 15140-78. Материалы лакокрасочные методы определения адгезии.
7. Методика выбора и оптимизации контролируемых параметров технологических процессов, РДМУ 109-77. М.: Изд-во стандартов, 1978. 48 с.

Сведения об авторах

- Димитрий Божидаров Леонов** — аспирант; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: dimilqn@mail.ru
- Андрей Юрьевич Иванов** — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: ivaanur72@mail.ru

Рекомендована кафедрой
технологии приборостроения

Поступила в редакцию
09.04.14 г.

Е. А. ФИЛИМОНОВА, О. С. ЮЛЬМЕТОВА, С. Д. ТРЕТЬЯКОВ

ОЦЕНКА ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРЕХМЕРНЫХ ТОПОГРАФИЙ

Представлены графические (непараметрические) критерии оценки шероховатости поверхности на базе трехмерных топографий. Разработана программа построения указанных критериев, реализованная в среде MatLab.

Ключевые слова: шероховатость, непараметрический критерий, трехмерная топография.

На функциональные свойства различных изделий существенно влияет микрогеометрия их поверхностей [1]. С целью повышения качества изготавливаемых деталей, имеющих функциональные показатели, существенно зависящие от шероховатости поверхности, необходимо определить микрогеометрию последней. Несмотря на многочисленные исследования задача оптимизации микрогеометрии остается нерешенной, поскольку полученные результаты носят в лучшем случае частный характер и оказываются невоспроизводимыми при малейшем изменении условий реализации технологии обработки поверхностей по сравнению с условиями эксперимента.

В работах профессора В. А. Валетова доказано, что с помощью существующих параметрических стандартов нельзя решить задачу оптимизации микрогеометрии поверхностей для их конкретных функциональных свойств [2, 3].

На рис. 1 представлены микрофотографии (а, б), профили (в, г) и параметры шероховатости (д, е) двух различных поверхностей с разными функциональными свойствами (оптическими коэффициентами отражения меток, сформированных методом лазерного маркирования), однако стандартные параметры микрогеометрии этих поверхностей одинаковы (см. рис. 1, д, е).

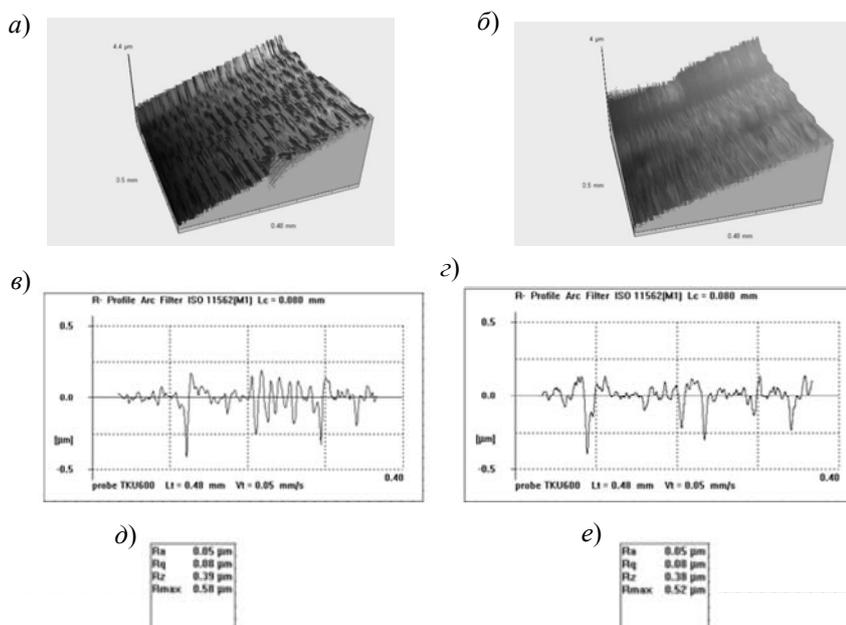


Рис. 1

Очевидно, что использование микрофотографий поверхностей в качестве критериев оценки и контроля их микрогеометрии является наиболее эффективным [4]. В настоящей работе предложена методика оценки и контроля микрогеометрии поверхностей на основе непа-

раметрических критериев — графических изображений эмпирических плотностей распределения ординат (или тангенсов углов наклона) микро топографии.

На рис. 2 представлены микро топография модели исследуемой поверхности (а), результат разбиения микро топографии на слои (б; I, II, III) и плотность распределения ординат топографий $H(y)$ (в), где H — отношение числа ординат, попавших в слой, к общему числу ординат трехмерной топографии (H_I — 3/19, H_{II} — 9/19, H_{III} — 7/19); y_i — значения ординаты для i -го слоя. Аналогично графику плотности распределения ординат строится график плотности распределения тангенсов углов наклона α трехмерных топографий $H(\operatorname{tg}\alpha)$. При сравнении нескольких микро топографий следует осуществлять построение указанных кривых в едином масштабе.

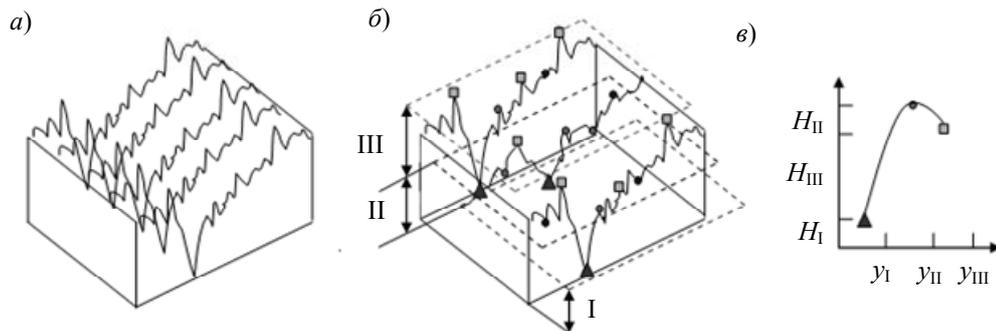


Рис. 2

Для оценки микро геометрии поверхности с помощью графических критериев в среде MatLab [4] была разработана программа [5].

Как видно из рис. 1, использование параметрических критериев для анализа шероховатости прецизионной поверхности неэффективно. Наиболее полную информацию о характере поверхности несет ее трехмерная топография, которая может быть построена с помощью приборов осязающего типа (например, измерительной станции Hommel Tester T8000) либо с использованием средств сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ Nanoeducator).

Практическое использование методики оценки микро геометрии начинается с измерения шероховатости поверхности прибором осязающего типа и сохранения координат микро топографии в виде текстового файла (эта функциональная возможность включена в меню любого современного прибора, предназначенного для исследований микро топографий поверхностей). После этого осуществляется загрузка txt-файла в среду MatLab при помощи функции load ('имя файла', '-ascii'), в виде матрицы с тремя столбцами. В первом столбце приведены координаты перемещения щупа прибора по оси X , во втором — по оси Y , в третьем — по оси Z . Построение графика плотности распределения ординат осуществляется с помощью функции hist.

Ниже приведен фрагмент кода программы, позволяющей:

1) осуществить загрузку файла с расширением .txt

```
P=load('topography.txt','-ascii');
```

2) получить координаты щупа прибора по осям X, Y, Z

```
X=P(:,1); Y=P(:,2); Z=P(:,3);
```

3) построить эмпирическую плотность распределения ординат трехмерной топографии

```
[m,n]=hist(Y,10);
```

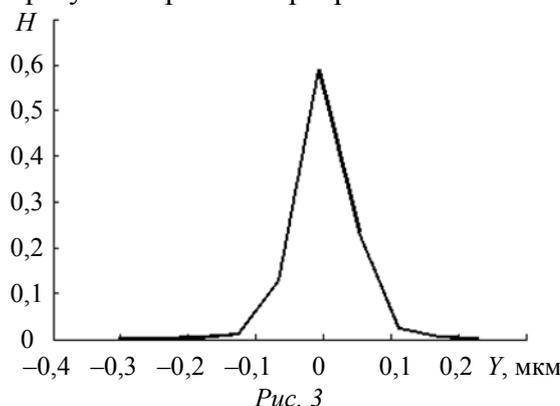
4) осуществить нормирование эмпирической плотности распределения ординат трехмерной топографии

```
m=m./length(Y);
```

5) вывести график кривой в отдельном окне

```
figure(1)
plot(n,m,'black','LineWidth',1.5)
hold on
xlabel('Y,mkm','FontSize',14);
ylabel('H','rotation',0,'FontSize',14).
```

На рис. 3 представлен результат работы программы.



Разработанная программа позволяет визуализировать предложенные непараметрические характеристики микрогеометрии — плотность распределения ординат и тангенсы углов наклона трехмерных топографий. Предложенный подход дает возможность перейти от субъективной зрительной оценки топографий к объективной компьютерной и контролю с использованием максимально информативных критериев — микро топографий поверхностей. Примером тому может послужить работа [4], в которой предложена процедура оптимизации шероховатости поверхности электростатического гироскопа для функционального свойства „контрастность“ [4].

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 14-08-31097.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Waletow W., Staufert G.* Moderne Methoden der Oberflaechenforschung // Technische Rundschau. 1981. N 10. S. 5—7.
2. *Valetov W. A., Grabow J.* Neue Verfahren auf dem Gebiet der Analyse und Kontrolle der Oberflaechenmikrogeometrie // 41 Intern. Wissenschaftliches Kolloquium. 1996. Bd 2. S. 622—625.
3. *Valetov W. A., J.Grabow., S. Tretiakow.* Zur experimentuellen Erforschung der Mikrogeometrie von Reibungsobertlaechen // 47 Intern. Wissenschaftliches Kolloquium. 2002. Tagussband. S. 403—404.
4. *Юльметова О. С.* Разработка технологических методов управления функциональными характеристиками узлов гиросприборов: Дис. ... канд. техн. наук. СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. 120 с.
5. *Юльметова О. С., Юльметова Р. Р., Сисюков А. Н.* Разработка программы в среде MatLab для обработки и анализа микрогеометрии поверхности // Сб. тр. конф. молодых ученых. Вып. 2. Биомедицинские технологии, мехатроника и робототехника. СПб: СПбГУ ИТМО. 2009. С. 300—304.

Сведения об авторах

- Сергей Дмитриевич Третьяков** — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: tretiserge@mail.ru
- Ольга Сергеевна Юльметова** — канд. техн. наук; ОАО Концерн ЦНИИ „Электронприбор“, Санкт-Петербург; старший научный сотрудник; E-mail: olga@yulmetova.ru
- Елена Алексеевна Филимонова** — аспирант; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: chiffa44@gmail.com

Рекомендована кафедрой
технологии приборостроения

Поступила в редакцию
09.04.14 г.

А. В. ПИРОГОВ, С. Д. ВАСИЛЬКОВ, В. П. САВЧЕНКО

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОПТИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Приведены некоторые методы контроля параметров оптических изделий, изготовленных из термопластичных полимерных материалов. Представлены методы контроля размеров, шероховатости и остаточных напряжений на примере плосковогнутой линзы. Проанализированы дефекты линз и результаты измерений, предложены рекомендации по улучшению качества полимерных линз при проектировании и производстве.

Ключевые слова: литье под давлением, оптические полимерные материалы, литьевая форма, полимерная линза, шероховатость, микрогеометрия, геометрические отклонения, остаточные напряжения, усадка.

Введение. Контрольные операции являются неотъемлемой и важной частью любого производственного процесса. От выбора стратегии и способов контроля изделия зависят общая производительность предприятия и показатели качества продукции. Важно выделить контролируемые параметры на каждом этапе производственного процесса и в соответствии с этим подобрать методики и средства контроля.

Требования к оптическим изделиям из стекла определяются на основании ГОСТ 23136-93 „Материалы оптические. Параметры“, ГОСТ 11141-84 „Детали оптические. Классы чистоты поверхностей. Методы контроля“ и др. [1]. Поскольку не разработаны нормативные документы, касающиеся оптических изделий из полимерных материалов, основой при анализе контролируемых параметров линз являются требования для стекол. Требования ЕСКД к чертежам оптических изделий из полимерных материалов также не регламентированы, поэтому необходимо рассматривать требования, предъявляемые к оптическим стеклам, основываясь на ГОСТ 3514–76 „Стекло оптическое бесцветное. Технические условия“ [1].

Необходимо контролировать параметры не только линзы, но и всего оптического изделия в сборе. Требования к параметрам изделия формируются на основе чертежей и технического задания. Параметры контроля можно разделить на шесть групп: размерные, оптические, технологические, химические, механические и температурные [2].

Контроль оптических изделий, полученных методом литья под давлением, имеет ряд особенностей:

1) при литье под давлением получается готовое изделие, что ограничивает использование контактных методов измерений, однако их можно применять в массовом производстве при выборочном контроле;

2) необходимость контроля как физических величин (показателей точности изготовления), так и качества изображения или распределения интенсивности света оптической системы.

Особенно важно контролировать оптические поверхности изделия, которые отвечают за направление распространения света, форму волнового фронта и ход лучей в зависимости от области применения (изображающие или неизображающие оптические изделия) [3]. Для высокоточных поверхностей допустимое отклонение полученной формы от заданной составляет десятые и сотые доли микрометра. В таблице представлены типичные характеристики оптических элементов, полученных методом литья под давлением [4].

Допуски на изделия из термопластичных полимерных материалов

Параметр	Качество изделия		
	низкое	стандартное	высокое
Отклонение фокусного расстояния и радиуса кривизны, %	$\pm 3—5$	$\pm 2—3$	$\pm 0,5—1$
Геометрические отклонения оптических поверхностей, мкм	20—50	5—20	0,5—5
Точность центрирования, ...'	± 3	± 2	± 1
Отклонения толщины и диаметра, мм	$\pm 0,1$	$\pm 0,05$	$\pm 0,01$
Шероховатость Ra, нм	10—15	5—10	2—5

Как видно из таблицы, значения допусков для оптических изделий сравнимы с длиной волны, поэтому необходимо иметь соответствующие высокоточные средства измерений. При этом требования для изображающих оптических изделий выше, чем для неизображающих. Ошибки контролируемой поверхности измеряются в долях длины волны или в долях интерференционной полосы.

Исследовалась плосковогнутая линза (рис. 1, а) из поликарбоната, входящая в состав оптической системы, состоящей из двух линз с инфракрасным источником света (рис. 1, б). Требования к линзе были предоставлены кафедрой ПиКО Университета ИТМО. Шероховатость для оптических поверхностей была определена значением $Rz = 0,05$ мкм, для остальных поверхностей $Ra = 2,5$ мкм. Была спроектирована и изготовлена литьевая форма из стандартных блоков со сменным двухгнездным комплектом формообразующих деталей (ФОД) [5]. В результате было получено около 50 отливок при различных режимах литья.

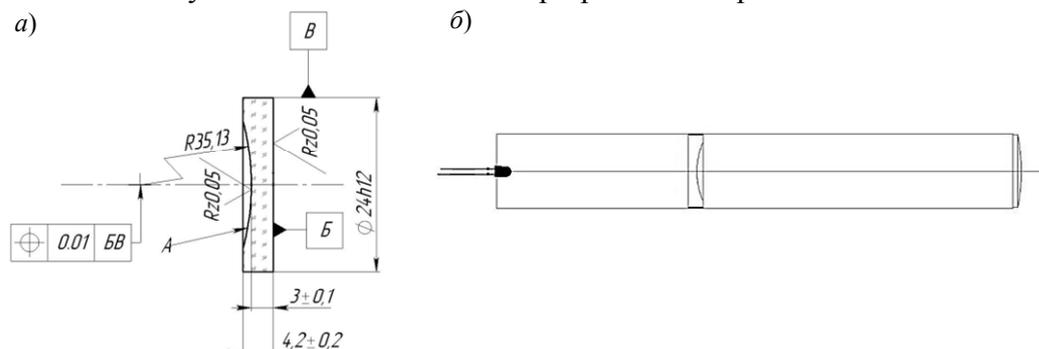


Рис. 1

Для анализа выбраны несколько линз различного качества, были проведены измерения: размеров ФОД и линз, шероховатости ФОД и линз, а также остаточных напряжений в линзах.

При визуальном осмотре выявлены следующие дефекты:

- „ворсиноподобные“ следы на поверхностях линз, что связано с недостаточно чистой поверхностью при подготовке ФОД перед литьем;
- микроцарапины, появление которых связано с нерегламентированным хранением и транспортировкой линз;
- наличие воздушных пузырей в литниковой системе;
- анизотропия усадки в направлении толщины линзы, равноудаленная от центра;
- поверхностные матовые области за впускным литником на изделии, с наличием следов течения, что может быть связано с особенностью геометрии впускного литника или высокой скоростью впрыска;
- мутные области белесоватого цвета в некоторых линзах, что связано с повышенной влажностью исходного гранулированного материала.

Контроль размеров линз проводился с помощью контрольно-измерительной машины Global Performance. Наиболее ответственная область линзы ограничена заданным световым

диаметром в 17 мм, в нее не попадает плоская кайма с описанной выше усадкой. Для рассматриваемой области наибольшие отклонения наблюдались у радиуса вогнутой части, а именно в диапазоне 0,3—0,5 мм, что существенно превышает допуск на общую ошибку. Это связано с тем, что при проектировании ФОД необходимо учитывать усадку материала (0,3—0,8 %). Размеры были увеличены на 0,4 %, но этого оказалось недостаточно ввиду большой толщины линзы.

Контроль шероховатости проводился с помощью профилометров Hommel Tester T8000 и Taylor-Hobson Surtronic 3+. Наилучшие локальные значения шероховатости составили $R_z = 0,1$, а средние — $R_z = 0,35$ и $R_a = 0,06$ мкм, что существенно хуже исходных требований к оптическим поверхностям ($R_z = 0,05$ мкм). Учитывая, что в некоторых случаях полное поглощение световой волны достигается при $\lambda/4$ и что данная линза используется в инфракрасном диапазоне, можно рассмотреть новые требования по шероховатости, которые могут быть снижены до $R_z = 0,23$ мкм.

Контроль остаточных напряжений проводился с помощью поляризационной установки FL 200. Результаты измерений в области „прибыли“ и впускного литника представлены на рис. 2, а и б соответственно (термин „прибыль“ относится к литью металлов и используется при литье полимеров). Линии напряжений в монохроматическом свете видны более четко, чем при белом свете. Перед „прибылью“ наблюдается концентрация напряжений, возникающая из-за линии спая при смыкании потоков расплава. После увеличения длины „прибыли“ описанный дефект был смещен из оптической области. Подобные концентраторы напряжений характерны для плосковогнутых и двояковогнутых линз, когда скорость потоков при впрыске по краям изделия больше, чем в центральной части. В основном линии остаточных напряжений располагаются вдоль окружности линз. Существенные остаточные напряжения наблюдаются во впускных литниках, что связано с малой толщиной последних по сравнению с разводящим литником. Это обстоятельство и разнотолщинность линзы повлияли на качество поверхности, о чем говорилось выше.

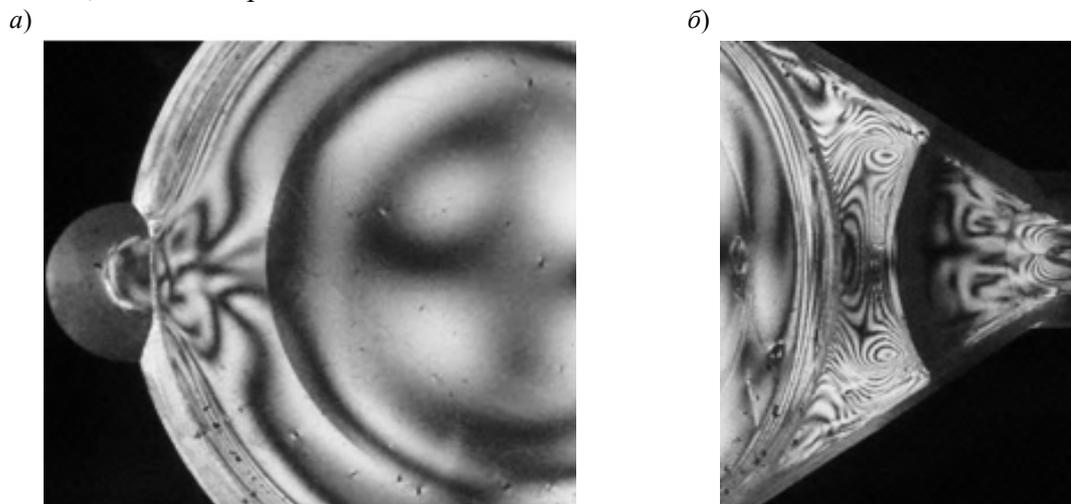


Рис. 2

Выводы. При проектировании технологической оснастки для литья полимерных оптических материалов под давлением и при выборе режимов литья необходимо учитывать особенности влияния геометрии поверхности линз и их толщины. Так, необходимо предварительно увеличивать размеры формообразующих полостей с учетом усадки полимерного материала и общей толщины изделия, что особенно влияет на радиусные поверхности. Наличие „прибыли“ позволяет сместить концентраторы остаточных напряжений в области, требования по качеству к которым снижены, а увеличение ее размеров позволяет снизить остаточные напряжения и убрать линии спая.

Шероховатость поверхности линзы существенно зависит от качества поверхности ФОД. В связи с условиями эксплуатации линзы в инфракрасном диапазоне, вероятно, возможно снизить требования по шероховатости, а значит — сократить временные и экономические показатели при изготовлении литьевой оснастки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Окатов М. А., Антонов Э. А., Байгожин А.* и др. Справочник технолога-оптика. СПб: Политехника, 2004. 679 с.
2. *Вильчинская С. С., Лисицын В. М.* Оптические материалы и технологии. Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2011. 107 с.
3. *Романова Г. Э., Паршин М. А., Серегин Д. А.* Конспект лекций по курсу „Компьютерные методы контроля оптики“. СПб: СПбГУ ИТМО, 2011.
4. *Mayer R.* Precision injection molding // *Optik & Photonik*. 2007. N 4. P. 46—51.
5. *Васильев Е. Ю., Осипчук С. В., Помпеев К. П., Третьяков С. Д., Яблочников Е. И.* Применение современного технологического оборудования и программного обеспечения для изготовления и контроля формообразующих деталей литьевых форм // „Современное машиностроение. Наука и образование“. Матер. 3-й Междунар. науч.-практ. конф. СПб: Изд-во Политехнического ун-та, 2013. № 3. С. 291—300.

Сведения об авторах

- Александр Владимирович Пирогов* — аспирант; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: avp1g@mail.ru
- Сергей Дмитриевич Васильков* — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: vasilkovsd@mail.ru
- Владимир Павлович Савченко* — аспирант; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: sawtchenko@gmail.com

Рекомендована кафедрой
технологии приборостроения

Поступила в редакцию
09.04.14 г.

Ю. П. КУЗЬМИН, К. П. ПОМПЕЕВ, А. А. ЦЕЛИЩЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ МИКРОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТЕЙ НА КАЧЕСТВО СКЛЕИВАНИЯ СТЕКЛА С МЕТАЛЛОМ

Рассматривается вопрос повышения качества клеевого соединения стекла с металлом за счет образования частично регулярного микрорельефа, обеспечивающего необходимое значение параметра шероховатости, без нарушения требований к плоскостности.

Ключевые слова: склеивание, прочность, плоскостность, регулярный микрорельеф.

Клеевые соединения находят все большее применение в связи с созданием высококачественных синтетических клеев. Склеивание (вместо сварки, пайки, клепки) позволяет соединить почти любые материалы, это упрощает процесс сборки и соединения деталей, а также уменьшает массу конструкции [1]. Толщина клеевой прослойки обычно составляет 0,01—0,12 мм. Как правило, с помощью клея выполняют соединения, работающие на сдвиг или равномерный отрыв, в стальных изделиях при этом обеспечивается предел прочности на сдвиг 20—35 МПа, а в ряде случаев значительно выше.

По сравнению с другими способами образования неразъемных соединений достоинство клеевого соединения состоит в равномерном распределении механических напряжений по шву. В правильно подготовленной зоне соединения после склеивания не возникает коррозии. В большинстве случаев клеевые соединения герметичны и непроницаемы для паров и жидкостей. Клеевое соединение позволяет сохранить структуру и свойства склеиваемых деталей и соединить большие поверхности сложной формы. Надежное соединение деталей малой толщины, как правило, возможно только склеиванием. В этом состоят основные преимущества клеевого соединения.

К недостаткам клеевых соединений относятся невысокая тепловая стойкость (в большинстве случаев при температуре выше 90 °С их прочность резко снижается); склонность к ползучести при длительном воздействии больших статических нагрузок; длительные сроки сушки; необходимость нагрева для получения стойких и герметичных соединений; низкая прочность на сдвиг.

Качество склеиваемых поверхностей в значительной мере определяет прочность соединения. Для получения клеевого соединения, соответствующего условиям эксплуатации изделия, к физико-механическим свойствам, точности обработки и шероховатости поверхности предъявляют определенные требования. Для обеспечения должного сцепления клея с поверхностью в некоторых случаях требуется предварительно повысить значение параметра шероховатости поверхности.

Так, например, поверхности оправ, на которые приклеиваются оптические детали, должны быть достаточно шероховатыми, в то же время к ним предъявляется требование по плоскостности, которое обеспечивается при чистовой обработке поверхности. При этом величина удаляемого припуска незначительная (0,3—0,4 мм), соответственно поверхности получаются более гладкими, чем нужно, а их обработка с большей глубиной резания (1—1,3 мм) может привести к появлению внутренних напряжений и короблению детали, что недопустимо. Увеличивать шероховатость этих поверхностей вручную (шкуркой) нецелесообразно, так как будет нарушено требование по плоскостности.

Поэтому для повышения качества склеивания предлагается наносить резанием predetermined quality of adhesive joint microrelief of practically identical form and size with a strictly defined mutual arrangement. At the same time, it is necessary to identify the optimal form of microrelief, for which the glue will be held in the best possible way not only on horizontal, but also on vertical surfaces. A promising form of microrelief is in the form of sinusoidal grooves, forming a partially regular microrelief (ЧРМР) [2]. At the same time, the cutting of ЧРМР on the surface for bonding is carried out on the same machine, as its final processing.

A sinusoidal microrelief, in the case of bonding materials in a vertical plane, will prevent the glue from flowing.

On fig. 1 is shown a sample for gluing with a regular microrelief with parameters according to GOST 24773-81 [3], here S_o — axial step of irregularities; S_k — circular step of irregularities; A — amplitude of a continuous regular irregularity; i — displacement of the following sine wave relative to the previous one.

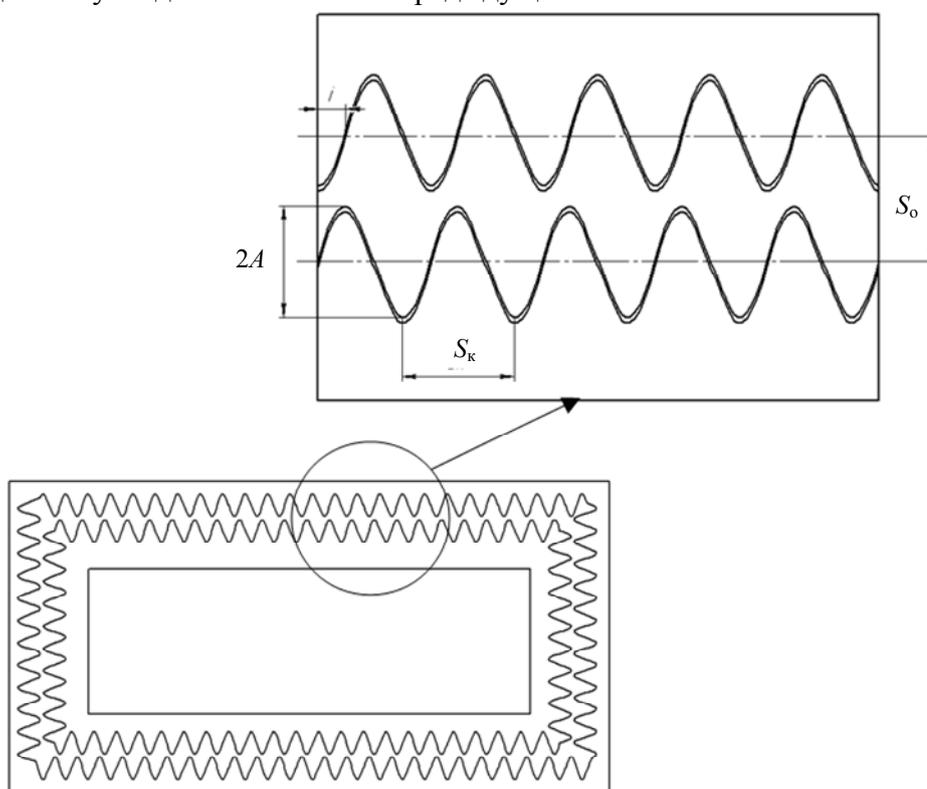


Рис. 1

Depending on the area of application of the adhesive joint, by varying the parameters, it is possible to achieve the optimal form of microrelief and correspondingly the optimal adhesive strength of the materials.

By changing the parameters of the grooves, it is possible to regulate the area of the formed ЧРМР [4] and correspondingly the level of strength of the adhesive joint. By the formation of ЧРМР, the necessary value of the roughness parameter (R_a , R_z) is achieved without violating the requirements for flatness.

For the application of microrelief, a specialized instrument is not required, it is possible to use both a end mill, and a graver. In connection with the insignificant depth of cutting (0,02—0,03 mm) the wear of the instrument is minimal. By changing the cutting instrument, it is possible to vary the profile of the microrelief, which, in its turn, affects the quality of bonding of the parts. Depending on the profile of the microrelief, the area of contact of the

прягаемой детали с клеящим веществом. Различают три профиля микрорельефа: сферический (рис. 2, а); прямоугольный (б); треугольный (в).

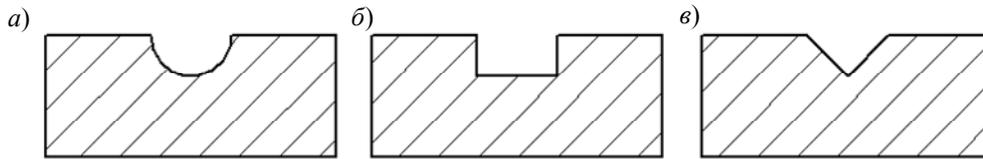


Рис. 2

Самым перспективным считается прямоугольный профиль. Площадь склеиваемой поверхности при использовании такого профиля наиболее велика.

Для определения влияния профиля микрорельефа на качество склеивания необходимо установить оптимальную геометрию микрорельефа, а затем провести испытания по разрушению клеевого соединения.

Экспериментально исследовались соединения оптических деталей с инваром. Использовался клей марки DP-190, обладающий высокой прочностью на сдвиг и расслаивание, а также устойчивостью к воздействию окружающей среды. В сравнительных испытаниях на прочность соединения образцов оптические детали приклеивались на предварительно зашкуренную ($Ra = 5\text{—}2,5$ мкм) поверхность [5] или на поверхность с нанесенным ЧРМР (в последнем случае микрорельеф состоит из пересекающихся либо непересекающихся канавок).

Полученные образцы испытываются на разрывной машине на сдвиг и разрыв. По результатам испытания возможно дать рекомендации по выбору оптимальных значений параметров ЧРМР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Склеивание [Электронный ресурс]: <<http://allreferat.wow.ua/referat/91421>>.
2. Шнейдер Ю. Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом. Л.: Машиностроение, 1982.
3. ГОСТ 24773-81. Поверхности с регулярным микрорельефом. Классификация, параметры и характеристики. М.: Изд-во стандартов, 1988.
4. Технология финишной обработки давлением: Справочник / Под ред. Ю. Г. Шнейдера. СПб: Политехника, 1998.
5. Клеевые соединения [Электронный ресурс]: <<http://gardenweb.ru/kleevye-soedineniya>>.

Сведения об авторах

- Юрий Петрович Кузьмин** — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: up_kuzmin@mail.ru
- Кирилл Павлович Помпеев** — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: kirpom@rambler.ru
- Андрей Александрович Целищев** — магистр; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: Tselishchevandrey@yandex.ru

Рекомендована кафедрой
технологии приборостроения

Поступила в редакцию
09.04.14 г.

В. М. МЕДУНЕЦКИЙ, С. В. СОЛК

КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ИНФРАКРАСНЫХ ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассмотрены некоторые вопросы обеспечения показателей качества инфракрасных оптико-механических систем. Показано, что технология сборки двухзеркальных систем с использованием синтезированных голограммных оптических элементов позволяет проектировать системы с „недоисправленными“ фокусами. Рассмотрены технические решения для многоспектральных оптико-механических систем, работающих в неблагоприятных климатических условиях. Отмечается перспективность использования селективных покрытий и систем микросканирования.

Ключевые слова: оптико-механическая система, матричное фотоприемное устройство, алмазное микроточение.

Успехи электронной промышленности в сфере производства матричных фотоприемных устройств (МФПУ) инфракрасного (ИК) диапазона привели к повышению требований к показателям качества оптико-механических систем (ОМС).

Инфракрасные ОМС существенно отличаются от систем видимого диапазона. Большой дифракционный предел разрешения, меньшая номенклатура оптических материалов для изготовления проходной оптики, сильная зависимость показателей преломления от температуры, высокие значения показателей преломления, а также необходимость учета собственного теплового излучения оптических и механических элементов требуют от разработчиков таких систем поиска новых технических решений.

В работе [1] рассмотрена технология юстировки крупногабаритного (апертура 1,1 м) зеркально-линзового ИК-объектива. Объектив представляет собой систему Кассегрена, включающую блок переноса изображения, служащий для минимизации паразитных фоновых засветок (такой подход позволил уменьшить длину ОМС при увеличении ее светосилы, а также компенсации аберраций). Относительное отверстие 1:3,3, рабочий спектральный диапазон 8—12 мкм. Юстировка двухзеркальной системы проводится с использованием синтезированного голограммного оптического элемента (ОЭ) и лазера, работающего в видимом диапазоне. Такой элемент состоит из трех осевых синтезированных голограмм, размещенных соосно на единой подложке. При использовании этой технологии не требуется высокое качество изображения в фокальной плоскости двухзеркальной системы.

Следует отметить, что синтезированный голографический ОЭ работает с кольцевыми зонами на вторичном и главном зеркалах. При проектировании зеркал целесообразно задавать дополнительный допуск на точность формы рабочих поверхностей в этих зонах, с учетом их работы в процессе юстировки в видимом диапазоне.

Возможности системы с „недоисправленными“ фокусами показаны в работе [2]. Объектив с апертурой 600 мм, относительным отверстием 1:3 и полем зрения 1° предназначен для работы в диапазоне 0,4—10 мкм. Объектив представляет собой модифицированную схему Ричи—Кретьена с однолинзовым корректором, который, в отличие от применяющихся традиционно, не является афокальным. Модифицированная схема использована для того, чтобы кома, вносимая двухлинзовой системой, компенсировала кому, вносимую однолинзовым корректором. Изготовленный корректор из BaF_2 вносит незначительные хроматические абер-

рации, BaF_2 прозрачен в широком спектральном диапазоне и не требует нанесения просветляющих покрытий. Такой объектив может работать с многодиапазонными МФПУ.

Как правило, инфракрасные ОМС предназначены для работы в сложных климатических условиях. Перепад температур, повышенная влажность, соляной туман, динамическое воздействие пыли приводят к деградации просветляющих, отражающих, спектроделительных и других покрытий оптических элементов. Вследствие высоких показателей преломления ИК-материалов деградация покрытий приводит к значительному уменьшению пропускания системы.

Особенно чувствительны к воздействию внешних факторов сложные, состоящие иногда из десятков слоев спектроделительные покрытия. В работе [3] рассмотрены конструкции трехдиапазонных спектроделителей, в работе которых используются оптические свойства (высокое отражение в ИК-диапазоне) некоторых оптических материалов, таких как кварц или сапфир. Наносимые на спектроделители вакуумные покрытия являются одно- или двуслойными, они достаточно стойки к внешним воздействиям. В работе [3] показана возможность использования трехдиапазонных спектроделителей в качестве корректоров полевых аберраций в зеркально-линзовых системах.

Для сохранения характеристик ИК ОМС, в частности, следует контролировать состояние покрытий ОЭ и газовой среды внутри прибора. В работе [4] рассмотрены методики, основанные на контроле изменения коэффициентов отражения рабочих поверхностей ОЭ ОМС или дополнительных ОЭ, покрытия которых малостойки к внешним воздействиям.

Большое количество ИК-материалов непрозрачны в видимой области спектра, поэтому для контроля показателей качества заготовок проходных ОЭ невозможно применить методики, используемые для видимого диапазона. В работе [5] рассмотрена следующая методика: измеряется функция передачи модуляции (ФПМ) эталонного ИК-объектива. Затем перед эталонным объективом устанавливается заготовка ОЭ, представляющая собой плоскопараллельную пластину с рабочими поверхностями оптического качества. Проводятся измерения ФПМ системы „плоскопараллельная пластина—объектив“. По изменению ФПМ можно сделать вывод о годности заготовки: при значительных изменениях заготовка выбраковывается.

Перед разработчиками многоспектральных систем встает множество задач, требующих взаимоисключающих решений. Так, для ОМС, работающей одновременно в видимом и инфракрасном диапазонах, такой задачей является выбор покрытий механических элементов конструкции. Для видимого диапазона необходим высокий коэффициент поглощения, для ИК-диапазона — низкий, чтобы обеспечить минимальное тепловое излучение элементов конструкции. Перспективным представляется использование селективных покрытий [6], имеющих пониженное значение коэффициента излучения в отдельных диапазонах (например, 8—14 мкм) и повышенное в других (например, в видимом).

Интересные технические решения, позволяющие повысить показатели качества ИК ОМС путем микросканирования, заключающегося в искусственном смещении изображения на часть пиксела МФПУ, описаны в работах [7, 8]. Такие устройства позволяют снизить требования к МФПУ.

Наиболее эффективной технологией изготовления ОЭ для ИК-диапазона является алмазное микроточение (АМТ). В работе [9] отмечается, что на сегодняшний день технология АМТ в основном применяется для формообразования рабочих поверхностей ОЭ. Перспективными направлениями развития технологии являются создание нанорельефа для генерации поверхностных электромагнитных волн, химическая и электрохимическая дополировка рабочих поверхностей ОЭ после АМТ с целью уменьшения шероховатости для работы в видимом и ближнем ИК-диапазонах спектра.

Выводы

1. Рассмотренная технология юстировки двухзеркальных систем с использованием синтезированных голограммных ОЭ дает возможность проектировать системы с „недоисправленными“ промежуточными фокусами, что позволяет повысить относительное отверстие, уменьшить габариты ОМС.

2. При проектировании двухзеркальных систем, юстировка которых предполагает использование синтезированных голограммных ОЭ, целесообразно задавать дополнительные допуски на точность формы кольцевых рабочих поверхностей зеркал, используемых при юстировке.

3. Использование разработанных методик позволяет создавать многоспектральные системы для работы в неблагоприятных климатических условиях и обеспечивать контроль состояния газовой среды и покрытий оптических элементов в ИК ОМС.

4. При проектировании ИК ОМС перспективным направлением является использование селективных покрытий и устройств для микросканирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Obraztsov V. S., Ageichik A. A., Larionov N. P., Lebedev O. A. Lukin A. V., Solk S. V.* Alignment of Cassegrain telescope with Epps—Shulte focus // The 9th Intern. Symp. on Measurement Technology and Intelligent Instruments. St. Petersburg, 2009. Vol. 3. P. 233—237.
2. *Лебедев О. А., Сабинин В. Е., Солк С. В.* Крупногабаритный многоспектральный объектив // Оптич. журн. 2011. Т. 78, № 11. С. 24—27.
3. *Сабинин В. Е., Солк С. В., Лебедев О. А.* Одноэлементный трехдиапазонный спектроделитель // Оптич. журн. 2011. Т. 78, № 6. С. 20—22.
4. *Солк С. В., Лебедев О. А.* Инфракрасный термонерасстраиваемый объектив // Оптич. журн. 2012. Т. 79, № 12. С. 38—40.
5. *Васильева Л. В., Лебедев О. А., Нужин В. С., Солк С. В.* Проектирование и изготовление линзовых объективов для работы в инфракрасной области спектра // Оптич. журн. 2003. Т. 70, № 4. С. 72—75.
6. *Гуревич М. М., Ицко Э. Ф., Середенко М. М.* Оптические свойства лакокрасочных покрытий. СПб: Профессия, 2010. 220 с.
7. *Xingling L, Zhong G, Nianwao D.* A novel imaging system with super resolution // SPIE. 1998. Vol. 3505. P. 102—107.
8. *Cabanski W., Breiter R., Mauk K-H.* Miniaturized high performance staring thermal imaging system // SPIE. 2000. Vol. 4028. P. 208—219.
9. *Медунецкий В. М., Солк С. В.* Опыт применения и перспективы технологии алмазного микрооточения // Науч.-техн. вестн. информационных технологий, механики и оптики. 2014. Т. 89, № 1. С. 165—170.

Сведения об авторах

- Виктор Михайлович Медунецкий** — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: vm57med@yandex.ru
- Сергей Вольдемарович Солк** — канд. техн. наук; ОАО „НИИ ОЭП“, Санкт-Петербург; начальник отдела ИК оптики; E-mail: solk@sbor.net

Рекомендована кафедрой
технологии приборостроения

Поступила в редакцию
09.04.14 г.

А. В. КРАСИЛЬНИКОВ

МЕТОДИКА ПРОЕКТНОЙ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО СТЕНДА

Рассмотрена роль гидродинамических стендов при организации производства пусковых систем подводных роботов. Приведены особенности составления математических моделей для расчета физических процессов в гидродинамических стендах, предназначенных для проведения комплексных испытаний пусковых систем. Представлен общий подход к оценке конструктивных параметров стенда на основе математической модели его функционирования.

Ключевые слова: подводный робот, испытания, гидродинамический стенд, оценка параметров стенда, математическое моделирование.

Сегодня не вызывает сомнения, что будущее морских технологий неразрывно связано с расширенным применением подводных роботов (ПР). Постоянно увеличивающийся диапазон рабочих глубин, освоение районов со сложной надводной гидро-, метео- и ледовой обстановкой и ряд других факторов определяют необходимость развития тесно связанного с ПР класса сложных устройств — пусковых систем, обеспечивающих взаимодействие роботов с различными (в первую очередь, подводными) носителями, выполняющих принудительное отделение ПР от носителя за счет приложения к нему кратковременного силового импульса. В качестве примера такой пусковой системы можно привести устройство, описанное в работе [1].

Производство любой современной сложной технической системы невозможно без должной технологической подготовки, важной составляющей которой является проведение испытаний создаваемой техники в производственных помещениях на стендовом оборудовании. Наиболее ответственным и затратным этапом исследований являются комплексные испытания, позволяющие оценить общую работоспособность системы при имитации всех (или большинства) внешних факторов, оказывающих воздействие на ее функционирование в реальных условиях.

Для проведения комплексных испытаний пусковых систем ПР создаются гидродинамические стенды (ГДС), одной из основных задач которых является отработка энергетической системы пускового устройства в условиях внешнего противодействия как основного фактора, влияющего на работу этого устройства [2, 3]. Имитация внешних условий обеспечивается за счет создания внутри испытательной камеры, в которую выходит ПР, давления, равного по своей величине забортному, для чего внутри испытательной камеры, заполненной водой, формируют воздушную полость [4, 5].

Такие стенды представляют собой сложные технические объекты, поэтому создание стендов невозможно без теоретического обоснования их параметров, т.е. проектирование ГДС должно осуществляться на базе предварительного математического моделирования физических процессов, происходящих при пуске ПР в стенде и пусковом устройстве. В то же время возможности решения практической задачи проектирования ГДС всегда ограничены, что требует применения расчетных подходов, позволяющих получить приемлемый результат с минимальными затратами (в первую очередь, временными). Это обстоятельство практически исключает применение сложных математических моделей, полностью воспроизводящих физическую картину. Поэтому в основном для составления математических моделей работы ГДС применяется подход, предусматривающий разбиение стенда и пускового устройства на

ряд взаимосвязанных отдельных объемов, для каждого из которых на основе известных законов газо- и гидродинамики составляется система дифференциальных уравнений.

Основная проблема при проектировании ГДС связана с тем, что ПР из пускового устройства попадает внутрь замкнутого объема испытательной камеры ГДС, поэтому давление в последней в момент пуска повышается, что приводит к снижению скорости ПР по сравнению с реальными условиями. Данное отрицательное воздействие ГДС необходимо по возможности уменьшить или компенсировать.

Преодолеть эту проблему можно, увеличив значение коэффициента n ($n = V_{\text{в}}/V_{\text{ПР}}$, $V_{\text{в}}$ — объем воздушной полости стенда, $V_{\text{ПР}}$ — водоизмещение робота). Чем выше значение n , тем меньше изменится давление внутри ГДС в процессе пуска. Однако повышение коэффициента n (обычное значение 20—40) приводит к значительному увеличению массогабаритных характеристик ГДС.

Автором предложен перспективный способ поддержания постоянного давления в ГДС при организации комплексных испытаний пусковых устройств малогабаритных необитаемых подводных аппаратов (НПА), позволяющий создавать стенды с малыми объемами воздушных полостей [5]. Ниже приводится методика оценки проектных характеристик подобного ГДС.

При составлении математической модели функционирования ГДС принимаются следующие допущения:

1) динамические физические процессы рассматриваются как квазистационарные, т.е. процессы в неустановившемся режиме описываются с помощью тех же закономерностей, что и в установившемся (в каждый отдельный момент времени параметры газа определяются из уравнения его состояния);

2) потоки жидкостей и газов считаются однородными, а в качестве основных параметров течений используются осредненные по поперечному сечению потока значения давлений и скоростей;

3) жидкости внутри ГДС и пускового устройства считаются несжимаемыми;

4) ввиду малого времени процесса пуска робота теплообмен не учитывается;

5) так как для рассматриваемого варианта ГДС целесообразно ограничить диапазон имитируемых глубин до 300 метров, при описании газодинамических процессов в воздушной полости ГДС используется модель идеального газа, что оправданно ввиду ее применимости для расчетов газовой динамики в области низких давлений.

Общая математическая модель работы воздушного пускового устройства в условиях ГДС подробно рассмотрена в книге [2]. В настоящей статье рассматривается только математическая модель газодинамических процессов в воздушной полости ГДС, позволяющая выбирать основные конструктивные параметры воздушной полости и системы поддержания давления.

Основными параметрами, характеризующими состояние газа (смеси газов) в газовой (воздушной) полости ГДС, имеющей объем V , являются давление P и температура T . Представим систему дифференциальных уравнений для расчета процессов в газовой полости ГДС:

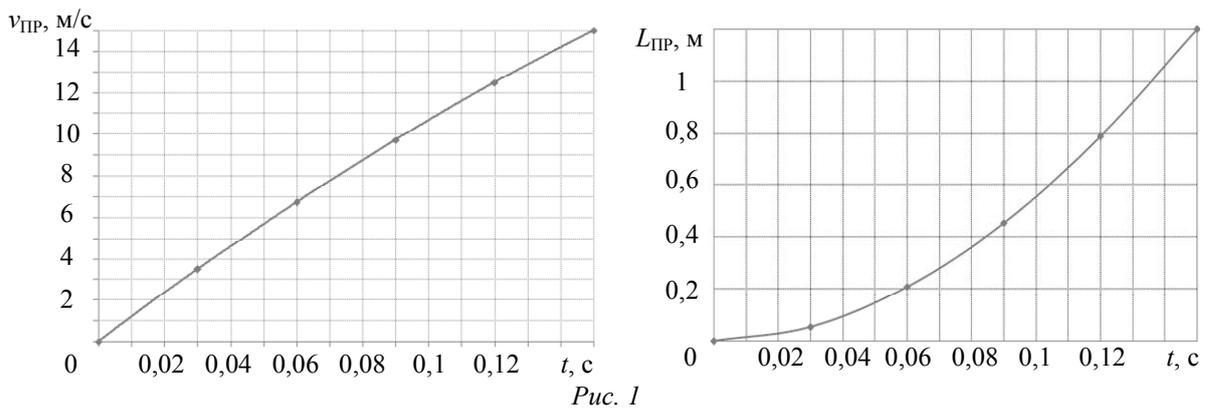
$$\left. \begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= -(f_{\text{ПР}}v_{\text{ПР}} + f_{\text{кз}}v_{\text{кз}}) \approx 1,25f_{\text{ПР}}v_{\text{ПР}}, \\ \frac{dP}{dt} &= \frac{1}{V} \left(-kRT \frac{dM}{dt} - kP \frac{dV}{dt} \right), \\ \frac{dT}{dt} &= \frac{T}{PV} \left(P \frac{dV}{dt} + V \frac{dP}{dt} + RT \frac{dM}{dt} \right), \\ \frac{dM}{dt} &= Pq \frac{1}{\sqrt{RT}} \sum_i \mu_{\text{ки}} f_{\text{ки}}, \end{aligned} \right\}$$

где t — время процесса пуска, с; $\frac{dV}{dt}$ — изменение объема газовой полости за счет входа ПР в ГДС; $\frac{dP}{dt}$ — изменение давления в газовой полости; $\frac{dT}{dt}$ — изменение температуры в газовой полости; $\frac{dM}{dt}$ — расход воздуха из газовой полости через клапаны системы поддержания давления; $f_{\text{ПР}}$ — площадь поперечного сечения ПР, м²; $v_{\text{ПР}}$ — скорость движения ПР, определяющаяся с помощью математической модели работы пускового устройства, м/с; $f_{\text{КЗ}}$ — площадь поперечного сечения кольцевого зазора в обтюрации пускового устройства, м²; $v_{\text{КЗ}}$ — скорость движения жидкости в кольцевом зазоре пускового устройства, определяющаяся с помощью математической модели его функционирования, м/с; k — коэффициент адиабаты; R — универсальная газовая постоянная; q — функция расхода, зависящая от отношения давления в газовой полости ГДС и атмосферного давления; $f_{\text{Ки}}$ — площадь проходного сечения i -го клапана, м²; $\mu_{\text{Ки}}$ — коэффициент расхода через i -й клапан.

С помощью приведенной математической модели исследовалась целесообразность применения описанного способа. Целью исследования было подтверждение возможности удержания изменения давления при пуске ПР в воздушной полости ГДС в пределах 5 % от установочного P_h (калибр ПР 127 мм, диапазон глубин $h=0$ —300 м). Исходные данные для моделирования процесса следующие:

- длина ПР — 1,2 м;
- начальный объем (были рассмотрены три варианта) воздушной полости ГДС — $V_{\text{В1}} = 0,120 \text{ м}^3$ ($n = 8$), $V_{\text{В2}} = 0,075 \text{ м}^3$ ($n = 5$), $V_{\text{В3}} = 0,060 \text{ м}^3$ ($n = 4$);
- число клапанов в системе поддержания давления — 3;
- площадь проходных сечений клапанов — 60 мм^2 (диаметр сечения $d = 9 \text{ мм}$), 600 мм^2 ($d = 28 \text{ мм}$), 1000 мм^2 ($d = 36 \text{ мм}$);
- общая длительность процесса пуска ПР — 0,15 с.

Заданные законы изменения скорости и перемещения ПР $L_{\text{ПР}}$ от времени представлены на рис. 1.



При первичной оценке работоспособности ГДС было принято допущение о том, что для всех значений h общее время пуска и характер зависимостей скорости и перемещения ПР от времени одинаковы (в действительности эти параметры зависят от глубины пуска робота, что должно соответствующим образом учитываться при рабочем проектировании). Соответственно неизменными оставались и моменты начала открытия каждого из клапанов.

Моделирование процессов, происходящих в ГДС при пуске ПР, осуществлялось в среде MatLab. Предварительно были проведены исследования функционирования ГДС без включения системы поддержания давления. Общее время моделирования было задано 0,35 с, при этом процесс пуска ПР начинался по прошествии 0,2 с от момента начала моделирования.

На рис. 2 показан характер изменения объема и давления в воздушной полости при пуске ПР на $h = 100$ м (при $V_{в1} = 0,120$ м³).

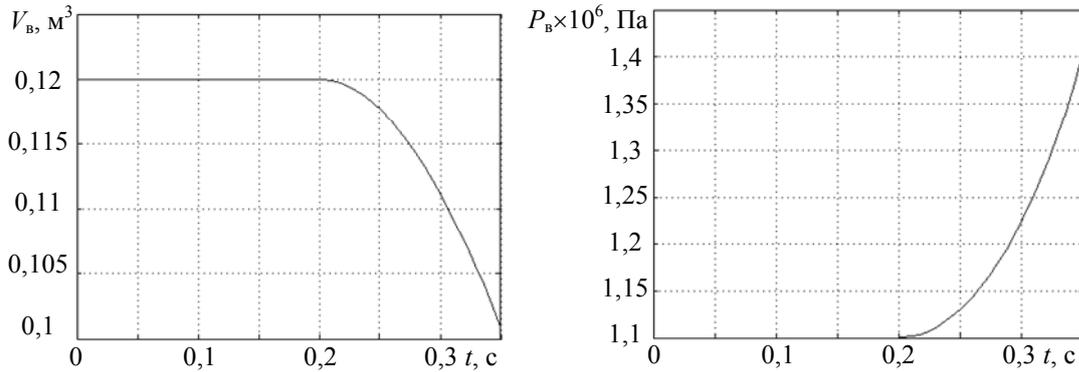


Рис. 2

Как можно видеть, объем воздушной полости в процессе пуска ПР уменьшается, а давление в ней растет. К моменту окончания пуска давление внутри полости превышает начальное на $3,03 \cdot 10^5$ Па. В случае пуска ПР при $h=300$ м конечное давление будет выше начального на $8,56 \cdot 10^5$ Па.

После получения данных о работе ГДС без использования системы поддержания давления были проведены исследования с ее применением, направленные на выбор рациональных моментов начала открытия клапанов. В рамках этих исследований последовательным подбором было найдено приемлемое сочетание моментов открытия клапанов, которое позволило получить желаемые результаты. Установлено, что открытие наименьшего по проходному сечению клапана должно начинаться (момент времени t_1) до начала пуска ПР, а открытие двух других (t_2 и t_3) клапанов — после начала пуска. Также были определены требуемые параметры быстродействия клапанов (линейное увеличение проходного сечения до момента Δt_i полного открытия i -го клапана). Пуск ПР, как и в предварительных исследованиях, начинался по прошествии 0,2 с от старта моделирования. В итоге моменты t_i начала открытия и время Δt_i до полного открытия сечения для клапанов составили:

- $t_1 = 0,11$ с, $\Delta t_1 = 0,04$ с ($d = 9$ мм);
- $t_2 = 0,23$ с, $\Delta t_2 = 0,07$ с ($d = 28$ мм);
- $t_3 = 0,21$ с, $\Delta t_3 = 0,09$ с ($d = 36$ мм).

На рис. 3 приведен характер изменения давления в воздушной полости ГДС при пуске ПР с использованием системы поддержания давления ($V_{в1} = 0,12$ м³, $h=100$ м).

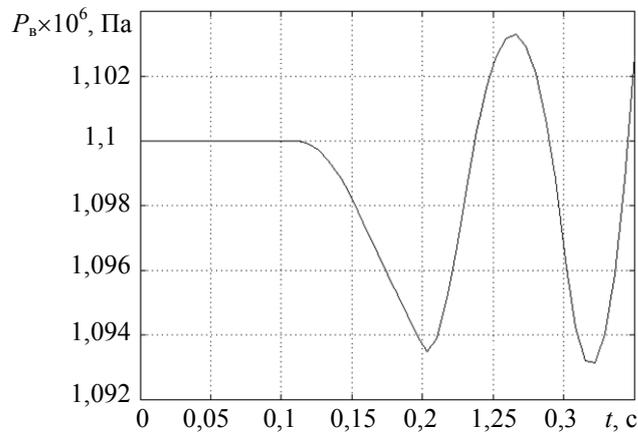


Рис. 3

В таблице представлены результаты исследования зависимости колебаний давления в воздушной полости ГДС от ее объема и глубины пуска ПР. При этом отклонения в сторону

уменьшения установочного давления P_h (отрицательные) обозначены как ΔP_{\min} , а в сторону увеличения (положительные) — как ΔP_{\max} .

Максимальные значения отклонений давления в воздушной полости от установочного в зависимости от объема воздушной полости и глубины пуска ПР

h , м	ΔP_{\min} , МПа	ΔP_{\max} , МПа	ΔP_{\min} , МПа	ΔP_{\max} , МПа	ΔP_{\min} , МПа	ΔP_{\max} , МПа
	$V_{в1} = 0,120 \text{ м}^3$		$V_{в2} = 0,075 \text{ м}^3$		$V_{в3} = 0,060 \text{ м}^3$	
100	0,0069	0,0033	0,0117	0,0054	0,0152	0,0076
200	0,0133	0,0063	0,0223	0,0102	0,0290	0,0145
300	0,0196	0,0093	0,0330	0,0115	0,0428	0,0214

Можно видеть, что даже при очень небольшом объеме воздушной полости ($n=4$) максимальное отклонение давления в ней во всем диапазоне глубин до 300 м составит менее 2 % от установочного.

Выводы. Представленная математическая модель позволяет осуществлять проектную оценку характеристик системы поддержания давления гидродинамического стенда.

Исследования предложенного способа поддержания давления в воздушной полости ГДС показали, что при $h=300$ м возможно достичь значения $\Delta P=0,05P_h$ за счет выбора клапанов и алгоритмов управления их открытием, что особенно актуально при проектировании ГДС для ПР малого калибра, поскольку в этом случае возможно создание ГДС, не требующего аттестации Ростехнадзором (например, в ГДС для ПР калибра 127 мм при $n = 5$ и $h < 600$ м $V_{в}P_{\max} < 10\,000$ ($V_{в}$ в литрах, P_{\max} — в атмосферах), т.е. меньше значения, установленного Ростехнадзором как граничное, до которого аттестации оборудования не требуется [6]).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент № 87511, МПК F41F 3/10 РФ. Транспортно-пусковой контейнер / О. И. Ефимов, А. В. Красильников, Р. В. Красильников. Заявл. 04.06.2009; опубл. 10.10.2009. Бюл. № 28.
2. Красильников А. В., Ефимов О. И., Валетов В. А. Испытания пусковых устройств подводных роботов. СПб: Изд-во СПбГМТУ, 2012. 102 с.
3. Шафранский Е. П. Воздушные ТА отечественных ПЛ. СПб: ОАО СПМБМ „Малахит“, 2012. — 158 с.
4. Патент № 2449254, МПК G01M 10/00 РФ. Гидродинамический стенд / О. И. Ефимов, А. В. Красильников, Р. В. Красильников. Заявл. 07.06.2010; опубл. 27.04.2012. Бюл. № 12.
5. Патент № 115477, МПК G01M 10/00 РФ. Гидродинамический стенд с системой поддержания давления / А. В. Красильников. Заявл. 10.01.2012; опубл. 27.04.2012. Бюл. № 12.
6. ПБ 03-576-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Утверждены постановлением Госгортехнадзора РФ от 11 июня 2003 г. № 91.

Сведения об авторе

Антон Валентинович Красильников — канд. техн. наук, старший научный сотрудник; Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, научно-исследовательский сектор перспективных энергетических установок; E-mail: a.v.krasilnikov@mail.ru

Рекомендована кафедрой
технологии приборостроения

Поступила в редакцию
09.04.14 г.

SUMMARY

P. 7—11.

PERSPECTIVES OF AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PREPRODUCTION

The problems of automation of technological preproduction of articles are analyzed, the state-of-art in technological preproduction is considered. Principles of automation of technological preproduction system are described; the system is treated as a corporative informational system operating in a private cloud and serving a group of related enterprises with the use of multi-agent technology.

Keywords: technological preproduction, means of design, engineering environment, CAD, multi-agent technologies, PDM-system, web-service, cloud technologies.

Data on authors

- Dmitry D. Kulikov* — Dr. Techn. Sci., Professor; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: ddkulikov@rambler.ru
- Boris S. Padun* — Cand. Techn. Sci.; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: bsp.tps.ifmo@mail.ru
- Eugeny I. Yablochnikov* — Cand. Techn. Sci.; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; Head of the Department; E-mail: eugeny@beepitron.com

P. 12—15.

INTERACTION OF PROCESSES OF MACHINING AND ASSEMBLING WORKS

Approaches to the problem of ensuring of necessary functional accuracy of a product are considered in the case when elements and construction units of the article are manufactured with significantly lower accuracy. Organization of production processes on the base of information technologies, prediction of variations in technological equipment features, and method of adaptive-selective assembling is proposed.

Keywords: integration, information technologies, methods of industrial engineering, perspective prediction.

Data on author

- Boris S. Padun* — Cand. Techn. Sci.; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: bsp.tps.ifmo@mail.ru

P. 15—18.**ADMINISTRATION SYSTEM OF WEB-CENTRIC CAM**

The basic system of web-centric Web CAM "TIS" is described. The administration system allows remote administration, management of technological subsystems and their catalogs, as well as providing functionality for their interaction.

Keywords: CAD/CAM/CAE, TIS, administration system, web, web-centric, web-service, multi-agent technology, database, subsystem.

Data on author

Nikolay E. Filyukov — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: badfilin@gmail.com

P. 18—20.**INTEGRATION OF CAD SYSTEM WITH AUTOMATED DESIGN SYSTEMS**

A method of organization of data exchange on a web-service platform using parametric model of a workpiece under construction is considered. A set of web-services is employed for development of the design-technological model and design of technological processes on the base of the model.

Keywords: CAPP, TIS-process, automation, common information space, design-technological model.

Data on authors

Dmitry D. Kulikov — Dr. Techn. Sci., Professor; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: ddkulikov@rambler.ru

Alexander S. Sagidullin — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: sagi.pochta@gmail.com

Serzh O. Nosov — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: nosovserzh@gmail.com

P. 21—25.**A METHOD OF CREATION OF ENGINEERING AND DESIGN MODEL OF WORKPIECE IN A CAD-SYSTEM ENVIRONMENT**

A possibility of CAD-system application for design of parametric model of workpiece under construction is considered. A program is presented allowing for developing the parametric model in Catia V5 system. A method for transferring the parametric model from CAD into an automated system of design of technological process as a XML-document is proposed. The SVG format is shown to be integrated in XML-document for a vector model of a workpiece.

Keywords: constructive element, complex element, parametric model of a detail, XML-document, SVG-format.

Data on author

Victor S. Babanin — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: vsbabanin@mail.ru

P. 26—29.**AUTOMATED CREATION OF OPERATIONAL WORKPIECE MODEL**

Principles of design of parametrical models for operational workpieces are considered. The system of formation and editing of design-technological models of elements and workpieces is described. Methods of automatic creation of parametrical models in 3D-modeling of manufactured elements and operational workpieces are presented.

Keywords: constructive element, parametrical model, operational workpieces, XML-document.

Data on authors

- Dmitry D. Kulikov* — Dr. Techn. Sci., Professor; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: ddkulikov@rambler.ru
- Nikita S. Klevansky* — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: NIKA-1990@yandex.ru
- Victor S. Babanin* — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: vsbabanin@mail.ru

P. 30—33.**APPLICATION OF VIRTUAL MODELING SYSTEMS IN PRODUCTS DESIGN OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS**

Peculiarities of product manufacturing of composite materials related to dependence of the product properties on the material microstructure are considered. Possibilities of application of computer-aided engineering and simulation systems in design and production of polymer composite products are described.

Keywords: polymer composite material, injection molding, CAE-systems, numerical simulation.

Data on author

- Aleksey S. Vasorkin* — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: asvosorkin@gmail.com

P. 33—36.**APPLICATION OF VIRTUAL SIMULATION SYSTEMS TO DEVELOPMENT OF HOUSING PROCESSES FOR ELECTRONIC COMPONENTS**

Main types of housing for integrated circuits and housing technology based on injection-compression molding are considered. Advantages of polymer materials application for electronic component housing are demonstrated. Peculiarities of employment of virtual systems of technological processes simulation in manufacturing of various types of housing are analyzed.

Keywords: housing, electronic component, injection-compression molding, engineering analysis, specialized software package, simulation of technological process.

Data on author

- Eugeny I. Yablochnikov* — Cand. Techn. Sci.; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; Head of the Department; E-mail: eugeny@beepitron.com
- Pavel V. Smirnov* — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: pavelsmirnov2011@gmail.com
- Anatoly S. Vorobiev* — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: delarge@mail.ru

P. 37—40.

AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PROCESS DESIGN BASED ON STRUCTURAL SYNTHESIS OF DIMENSIONAL CONNECTIONS

The problem of structural analysis and synthesis based on systems approach to analysis and formal description of engineering objects and processes are considered in application to design of technological process of automated manufacturing. Synthesis of manufacturing process structure is carried out by the guided search method with gradual detailing and correction of accepted solutions. For pursuing this objective, an estimated functional subordination correlation between the components geometry of the finished product and its state during mechanical treatment is used.

Keywords: automated engineering, CAD, analysis, geometry connections, rough part, finished product, mechanical treatment, modelling, synthesis, systems approach, structure, graph theory, manufacturing process.

Data on authors

- Vladlen A. Klevtsov* — Cand. Techn. Sci.; National Mineral Resources University (University of Mines), Department of Instrument Engineering, St. Petersburg; E-mail: sapr2k8@yandex.ru
- Kirill P. Pompeev* — Cand. Techn. Sci.; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: kirpom@rambler.ru

P. 41—45.

KNOWLEDGE MANAGEMENT IN AUTOMATED SYSTEM OF TECHNOLOGICAL PREPRODUCTION

An approach to creation of a knowledge management system for technological preproduction is considered. Methods of organization of a common information environment are proposed based on domain ontology. Application of PDM-system for creation ontology of CAM is analyzed.

Keywords: technological preproduction, ontology, knowledge management system, PDM-system, subject area, subject knowledge, frames, workpiece model, process model, information resource, vocabulary.

Data on author

- Dmitry D. Kulikov* — Dr. Techn. Sci., Professor; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: ddkulikov@rambler.ru

P. 45—48.

ORGANIZATION OF METADATA IN SYSTEM OF KNOWLEDGE MANAGEMENT

A model of common information environment with fixed connection between ontology and metadata is considered. The functions of metadata in technological preproduction are analyzed. A system of knowledge management is proposed for operation with metadata as well as for analysis and editing of conceptual ontology model.

Keywords: ontology, metadata, common information environment, knowledge management system.

Data on authors

- Serzh O. Nosov* — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: nosovserzh@gmail.com
- Alexander S. Sagidullin* — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: sagi.pochta@gmail.com

P. 49—51.**TEMPLATE DESIGN OF CONTROL PROGRAMS OF MEASUREMENT ON THE BASE OF DESIGN-TECHNOLOGY WORKPIECE MODEL**

Method of design of templates for control measurement programs on the basis of design-technology model of workpiece is considered. General rules of template design and setting for a control measurement program are presented.

Keywords: design-technology workpiece model, measurement control program, complex template, typical template.

Data on author

Ivan N. Ryabchikov — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: riabchikov@mail.ru

P. 52—54.**APPLICATION OF NON-PARAMETRIC CRITERIA FOR ESTIMATION OF SURFACE MICRO-GEOMETRY AT PULSE MILLING**

A new promising method of quality assessment and control over processed surface microgeometry is proposed. Results of technological investigations based on the method are presented.

Keywords: microgeometry, roughness, automated control, non-parametric criterion.

Data on authors

Vyacheslav A. Valetov — Dr. Techn. Sci., Professor; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: valetov.v@mail.ru

Elena A. Filimonova — ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; Research Engineer; E-mail: chiffa44@gmail.com

P. 54—57.**THE EFFECT OF THE ENVIRONMENT ON FUNCTIONAL PERFORMANCE OF MACHINE PART SURFACE**

A study of functional performance of machine part exposed to atmospheric effects in terms of corrosion stability and paint film adhesion is carried out with the use of nonparametric estimation criteria and control of surface roughness.

Keywords: surface roughness, nonparametric criteria, corrosion stability, adhesion.

Data on authors

Dimilian B. Leonov — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: dimilqn@mail.ru

Andrey Yu. Ivanov — Cand. Techn. Sci.; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: ivaanur72@mail.ru

P. 58—60.

EVALUATION OF SURFACE ROUGHNESS USING THREE-DIMENSIONAL TOPOGRAPHY

A new criterion for evaluating the surface roughness based on the three-dimensional topography is proposed. A program for constructing the criterion implemented in Matlab environment is presented.

Keywords: roughness, non-parametric criteria, three-dimensional topography.

Data on authors

- Sergey D. Tretyakov* — Cand. Techn. Sci., ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: tretiserge@mail.ru
- Olga S. Yulmetova* — Cand. Techn. Sci.; JSC Concern CSRI Elektropribor, St. Petersburg; Senior Scientist; E-mail: olga@yulmetova.ru
- Elena A. Filimonova* — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: chiffa44@gmail.com

P. 61—64.

QUALITY CONTROL OF OPTICAL ARTICLES MADE OF THERMOPLASTIC POLYMER MATERIAL

Methods of control over technical parameters of optical elements made of thermoplastic polymer materials are described. Using plane-concave lens as an example, the methods of control over size, roughness, and residual stresses in the element are considered. Defects of lenses are results of measuring are analyzed, recommendation to polymer lens design and manufacturing aimed at improvement of the lens characteristics are formulated.

Keywords: injection molding of thermoplastic polymeric materials, molds, lens, surface roughness, geometric deviation, residual stress, shrinkage.

Data on authors

- Alexander V. Pirogov* — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: avpir@mail.ru
- Sergey D. Vasilkov* — Cand. Techn. Sci., ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: vasilkovsd@mail.ru
- Vladimir P. Savchenko* — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: sawtchenko@gmail.com

P. 64—67.

RESEARCH ON THE EFFECT OF SURFACE MICRORELIEF REGULARIZATION ON THE QUALITY OF GLASS-TO-METAL BONDING

A method of improvement of glass-to-metal bounding due to formation of partially regular microrelief on glass surface with specified value of the roughness parameter and retained flatness requirements is considered.

Keywords: bonding, strength, flatness, regular microrelief.

Data on authors

- Yury P. Kuzmin* — Cand. Techn. Sci.; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: vasilkovsd@mail.ru
- Kirill P. Pompeev* — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: kirpom@rambler.ru
- Andrey A. Tselishchev* — Master Sci.; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: Tselishchevandrey@yandex.ru

P. 68—70.

DESIGN AND TECHNOLOGICAL METHODS TO ASSURE QUALITY INDEX OF IR OPTOMECHANICAL SYSTEMS

Several design and engineering methods to assure quality index of IR and multi-spectral optomechanical system are examined. The assembly technology of the double-mirror systems applying the synthesized holographic optical elements is shown to enable development of systems with "uncorrected" focus. Engineering solutions for multi-spectral optomechanical system operating in severe environment are considered. Perceptiveness of selective coatings and microscanning systems application is discussed.

Keywords: IR and multi-spectral optomechanical system, matrix photodetector, diamond turning.

Data on authors

- Viktor M. Medunetsky* — Dr. Techn. Sci., Professor; ITMO University, Department of Instrumentation Technology, St. Petersburg; E-mail: vm57med@yandex.ru
- Sergey V. Solk* — Cand. Techn. Sci.; Public Corporation Scientific Research Institute for Optoelectronic Instrument Engineering, Department of IR optics, St. Petersburg; Chief of the Department; E-mail: solk@sbor.net

P. 71—75.

METHOD OF DESIGN ASSESSMENT OF CHARACTERISTICS OF PRESSURE MAINTENANCE SYSTEM OF HYDRODYNAMIC STAND

The role of hydrodynamic stands in the technological organization of production of starting systems for underwater robots is described. Peculiarities of mathematical modeling of physical processes in the hydrodynamic stand intended for complex testing of starting systems of underwater robots are considered. A general approach to assessment of design data of the stand on the basis of mathematical model of its functioning is presented.

Keywords: underwater robot, tests, hydrodynamic stand, parameters assessment, mathematical modeling.

Data on author

- Anton V. Krasilnikov* — Cand. Techn. Sci.; St. Petersburg State Sea Technical University, Research Sector of Perspective Power Installations; Senior Scientist;
E-mail: a.v.krasilnikov@mail.ru