

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК – СТАНКОИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

24 ноября 2017 года в Институте машиноведения им. А.А. Благонравова (ИМАШ) РАН прошла инновационно-ориентированная конференция «Научные проблемы станкостроения. Ход выполнения КПНИ «Разработка научных основ инновационных технологий в станкостроении».

Год назад первые страницы журнала «СТАНКОИНСТРУМЕНТ» (№ 1, 2017 г.) были посвящены вопросам создания на базе МГТУ «СТАНКИН» государственного научного и конструкторско-технологического центра станкостроения, призванного, в числе прочего, консолидировать имеющийся задел отраслевых НИИ. Однако один центр переломить негативную ситуацию, которая складывалась десятилетиями, конечно, не сможет. Ведь проблема отрасли – системная, пронизывающая всю экономику страны: от новейших научных разработок, соответствующих уровню 21 века, до производства новых станков, которые поступают на соответствующие промышленные предприятия.

Задачу консолидации усилий решает Ассоциация производителей станкоинструментальной продукции «Станкоинструмент». По словам ее президента Георгия Самодурова, в фокусе внимания ассоциации – налаживание целенаправленного взаимодействия предприятий отрасли с вузовской наукой – техническими университетами и колледжами. В этом году Ассоциация впервые участвовала в международной промышленной выставке в Ганновере, где при содействии Российского экспортного центра были представлены новые отечественные разработки, которые, как оказалось, нисколько не уступают лучшим мировым образцам. Несмотря на все сложности внутриэкономической ситуации в РФ, в течение последних трех лет удалось достичь 15% роста производства рос-

сийских станков и обрабатывающих центров.

Еще один перспективный подход к решению масштабных системных проблем отрасли – объединение усилий компаний и организаций вокруг новейших прорывных технологий, в основе которых – уникальные достижения российской фунда-



Георгий Самодуров, президент Ассоциации производителей станкоинструментальной продукции «Станкоинструмент»

ментальной науки. На уровне Российской академии наук эта идея воплощается в виде так называемых комплексных программ научных исследований (КПНИ).

Идея КПНИ – сетевое взаимодействие научных организаций, имеющее целью проведение эффективных междисциплинарных исследований на основе интеграции кадровых, материальных и интеллектуальных ресурсов по профильным направлениям Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук (ПФНИ ГАН). Иными словами, речь идет о кооперации научных институтов ФАНО при делегировании институтами лидерами в определенных научных направлениях полномочий управления ведущему институту-координатору. Причем, эта кооперация строится по проектному принципу, который не раз доказывал свою эффективность в области организации научных исследований как в СССР, так и в других странах.

Защита первого КПНИ на Научно-координационном совете ФАНО состоялась в сентябре 2015 года, а сегодня в этом формате работает несколько десятков программ фундаментальных научных исследований. Среди них – КПНИ «Разработка научных основ инновационных технологий в станкостроении» и «Робототехнические комплексы», старт которым был дан в ноябре 2016 года.

Подведению итогов первого года реализации этих КПНИ была посвящена инновационно-ориентированная конференция «Научные проблемы станкостроения. Ход выполнения КПНИ «Разработка научных основ инновационных технологий в станкостроении», которая прошла 24 ноября 2017 года в Институте машиноведения им. А.А. Благодирова (ИМАШ) РАН.

КПНИ В СТАНКСТРОЕНИИ: ОРИЕНТИРЫ

В соответствии с общими требованиями к КПНИ, программа исследований «Разработка научных основ инновационных технологий в станкостроении» выполняется в русле перспективных направлений фундаментальной науки и охватывает 43 темы ПФНИ ГАН (3 раздела, 10 подразделов) с интегральным сроком исполнения 63 месяца: 2017–2021 годы.

Андрей Бункин, главный специалист-эксперт отдела координации деятельности в сфере математических наук и информационных технологий Управления координации и обеспечения деятельности организаций в сфере науки ФАНО, отметил, что ожидаемые результаты КПНИ лежат в нескольких областях:

- разработка научных основ создания новых материалов и покрытий для деталей машин, станков и промышленных робототехнических систем;

КЛЮЧЕВЫЕ СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ ПРОГРАММЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РФ

- Государственная программа «Развитие науки и технологий на 2013–2020 гг.».
- Стратегия научно-технологического развития России до 2035 года.
- Послание Президента РФ Федеральному собранию от 1 декабря 2016 года.
- Единая программа фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2013–2020 гг.).
- Программа фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы (ПФНИ ГАН).

Госпрограмма «Развитие науки и технологий на 2013–2020 гг.» (РНТ) определяет вектор долгосрочного развития государственной научно-технической политики с учетом важнейших направлений модернизации и инновационного развития национальной экономики. Сферой ответственности РНТ является создание научно-технологического задела, прежде всего межотраслевой направленности, основанной на системе фундаментальных исследований.

Важнейший элемент Единой программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2013–2020 гг.) – ПФНИ ГАН. Она описывает главную функцию академического сектора науки как расширенное воспроизводство знаний мирового уровня, способствующих технологическому и экономическому развитию России, и сохранение на этой основе статуса мировой научной державы. ПФНИ ГАН включает 13 разделов, 198 подразделов и охватывает 681 научный институт.

На реализацию ПФНИ ГАН запланировано выделить из федерального бюджета за восемь лет 632 млрд руб. Российская академия наук получит за эти годы около 510 млрд руб. бюджетного финансирования.

- разработка методов расчета прочности и прогнозирования поведения новых материалов и конструкций станков в условиях рабочей эксплуатации и при внешних воздействиях;
- разработка методов и средств построения интеллектуальных систем для контроля и управ-

ЦИФРЫ И ФАКТЫ О МЕХАНИЗМЕ КПНИ

Согласно планам внедрения КПНИ, на первом этапе (2015 г.) планировалось внедрение пяти пилотных КПНИ, в 2016 году – не менее 25 КПНИ, что должно было охватить приблизительно 50% исследований в рамках ПФНИ ГАН (сегодня в списке ФАНО – 65 приоритетных направлений развития науки). В 2017 году предполагалось довести долю научных исследований ПФНИ ГАН, реализуемых в формате КПНИ, до 80%.

Интеграционные проекты в формате КПНИ имеют достаточно гибкую структуру, но с обязательной инициативой «снизу» при условии согласования с направлениями ПФНИ ГАН.

Механизм КПНИ основан на «принципе 4К»: координация, кооперация, концентрация (ресурсов), конкуренция. Кооперация организаций-участников КПНИ основана на сохранении их финансовой и юридической независимости, а также равноправии участников. Направления кооперации также включают международное сотрудничество, взаимодействие с реальным сектором экономики и образовательными учреждениями.

Подобный опыт реализации научных программ в составе большого консорциума исполнителей есть и за рубежом, например европейская инициатива «Горизонт 2020» или объединение имени Гельмгольца в Германии (в него входят 18 институтов, которые совместно выполняют около 30 научных программ). В международной практике прогностического анализа НИР горизонт планирования обычно составляет 5–7 лет.

КПНИ могут быть четырех основных типов:

- с низкой степенью интеграции (подходят для реализации исследовательских программ);
- для реализации программ прикладных научных исследований или, например, опытно-конструкторских работ;
- инфраструктурные (с прямым или распределенным объединением участников);
- нацеленные на решение проблем государственного уровня.

ления многокоординатными автоматизированными системами и производственными комплексами;

- создание перспективных высокоэффективных, энерго- и материалосберегающих сквозных технологий (в том числе аддитивных)



Андрей Бункин, главный специалист-эксперт отдела координации деятельности в сфере математических наук и информационных технологий Управления координации и обеспечения деятельности организаций в сфере науки ФАНО

и устройств для обработки и формообразования материалов;

- разработка сквозных технологий, механизмов, машин, мехатронных узлов и готовых промышленных робототехнических систем.

Таким образом, за весь период исполнения КПНИ организациям, участвующим в программе, предстоит пройти ряд этапов:

- проведение фундаментальных исследований;
- создание новых передовых методов;
- разработку технологий;
- создание соответствующего программного обеспечения;
- тестирование созданных технологий, оборудования, методик, программного обеспечения в ходе пилотных проектов на площадках партнеров и заказчиков КПНИ.

Как подчеркнул Андрей Бункин, ключевая задача КПНИ – с помощью партнерских отношений между участниками программы перевести достижения фундаментальной науки в серийно выпускаемые станки. Задача эта весьма амбициозна для любой отрасли, даже не находящейся в состоянии кризиса, ведь, по сути, участникам программы предстоит успешно преодолеть «долину смерти НИОКР» и перейти в область коммерциализации разработок в виде оборудования, востребованного реальным сектором экономики. Но ее придется решать, ведь, по большому счету, речь идет о жизни и смерти всей отрасли отечественного станкостроения. Кроме того, идея КПНИ служит прообразом будущих комплексных проектов научно-технологического развития – они станут стандартной формой непре-

ТЕМАТИКА КПНИ «РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТАНКОСТРОЕНИИ» В ИССЛЕДОВАНИЯХ ПФНИ ГАН

Тема 09	Физическое материаловедение: новые материалы и структуры, в том числе фуллерены, нанотрубки, графены, другие наноматериалы, а также метаматериалы
Тема 11	Фундаментальные основы лазерных технологий, включая обработку и модификацию материалов, оптическую информатику, связь, навигацию и медицину
Тема 21	Общая механика, навигационные системы, динамика космических тел, транспортных средств и управляемых аппаратов, механика живых систем
Тема 23	Механика деформирования и разрушения материалов, сред, изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред
Тема 26	Волновое машиностроение и волновые технологии. Инновационные основы машиноведения и современного машиностроения. Научные основы проектирования волновых машин и аппаратов
Тема 28	Система многокритериального связного анализа, обеспечения и повышения прочности, ресурса, живучести, надежности и безопасности машин, машинных и человеко-машинных комплексов
Тема 29	Триботехника и износостойкость высоконагруженных элементов машин
Тема 30	Методы анализа и синтеза многофункциональных механизмов и машин для перспективных технологий и новых человеко-машинных комплексов
Тема 35	Когнитивные системы и технологии, нейроинформатика и биоинформатика, системный анализ, искусственный интеллект, системы распознавания образов, принятие решений при многих критериях
Тема 36	Системы автоматизации, CALS-технологии, математические модели и методы исследования сложных управляющих систем и процессов

ровного потока инновационных разработок, что отвечает потребностям экономического развития стран в 21 веке.

КПНИ В СТАНКОСТРОЕНИИ: ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

По оценке Виктора Глазунова, директора ИМАШ РАН – организации-координатора КПНИ, главная цель перспективных исследований – обеспечение конкурентоспособности и диверсификации отечественного станкостроения и машиностроения. В соответствии с этой целью выделяется ряд ключевых задач КПНИ:

- создание прорывных решений, новых машин, механизмов, промышленных робототехнических комплексов;
- разработка перспективных технологий обработки и формообразования деталей (в том числе аддитивных технологий);
- создание сквозных технологий цифровой экономики и автоматических производств, «Индустрии 4.0»;

→ развитие кадрового потенциала в области станкостроения.

Очевидно, что решение указанных задач требует перехода к передовым цифровым технологиям, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования. Цифровизация всех производственных вопросов, в свою очередь, обуславливает требования сквозных цифровых технологий, включая методы обработки больших объемов данных и искусственного интеллекта. Исходя из этих предпосылок, вся исследовательская программа КПНИ сгруппирована в четыре научных направления.

«Разработка научных основ сквозных технологий, механизмов, машин, мехатронных узлов и промышленных робототехнических систем» (8 тем) охватывает исследования в сфере создания цифрового производства:

- принципы создания сквозных технологий на основе интеллектуальных систем управления;
- новые технические решения для станков и промышленных роботов.



Виктор Глазунов, директор ИМАШ РАН

- теоретические основы синтеза новых мехатронных технологических, испытательных, обучающих и др. систем для станкостроения;
- фундаментальная теория механической обработки и тепловых процессов;
- развитие модульного принципа организации механообрабатывающих производств.

«Создание методов, средств построения интеллектуальных систем управления и контроля автоматизированных систем и производственных комплексов» (7 тем) включает тематику алгоритмов, программного обеспечения, быстродействующих высокоточных приводов и прочих составных частей передового автоматизированного станочного оборудования:

- алгоритмы, программное обеспечение управления технологическими процессами, мехатронными узлами станков, промышленными роботами;
- высокоточные быстродействующие приводы с интеллектуальной системой управления;
- автоматизированные системы контроля качества поверхностей и геометрических характеристик изготавливаемых деталей;
- новые информационно-измерительные системы и механизмы для диагностики, калибровки и контроля работы станочного оборудования в едином информационном пространстве.

«Создание перспективных высокоэффективных, энерго- и материалосберегающих (в том числе аддитивных) сквозных технологий и устройств для обработки и формообразования деталей» (11 тем) предполагает исследования для создания новых технологий обработки и новых типов обрабатывающих инструментов, энерго- и материалосберегающего станочного оборудования нового поколения:

- новые (в том числе аддитивные, лазерные, плазменные) технологии и устройства обработки материалов и формообразования деталей;
- новый класс машин и аппаратов на принципах нелинейной волновой механики для промышленного производства;
- новые типы обрабатывающего инструмента и технологической оснастки;
- ультразвуковые авторезонансные системы для обрабатывающих центров.

«Разработка новых материалов и покрытий для деталей машин, станков и промышленных робототехнических систем, методов расчета прочности и прогнозирования поведения материалов и конструкций станков» (8 тем) охватывает методы расчета и прогнозирования ресурса и надежности, а также новые материалы и покрытия, – все то, что способно повысить ресурс и надежность станков и станочного оборудования:

- новые технологии создания материалов с заданными свойствами и изделий из них для станочного оборудования;
- новые наноструктурированные триботехнические материалы, покрытия и смазочные среды для станков;
- новые материалы и методы для повышения надежности и герметичности гидро- и пневмосистем станков;
- новые методы оценки ресурса, живучести станков, станочного оборудования, режущего инструмента и полимерных композиционных материалов для современного станкостроения.

В целом, направления фундаментальных исследований в рамках КПНИ полностью соответствуют мировым трендам развития научной мысли в области станкостроения.

Мехатроника – глобальное направление развития современной науки, техники и технологии, определяет облик техносферы нового века и, безусловно, является ведущей тенденцией развития современного машиностроения. Активный переход от механики к мехатронике особенно отчетливо проявляется при создании интеллектуальных роботов и реконфигурируемого оборудования, нового поколения авиационной и военной техники, микросистем и медицинского оборудования. Главный вызов мехатроники заключается в создании таких интеллектуальных машин и движущихся систем, которые обладают качественно новыми функциями и свойствами. «В результате выполнения исследований, запланированных в рамках КПНИ, необходимо получить не сумму составных частей, а именно синергический эффект, – подчеркивает Виктор Глазунов. – Это станок или обрабатывающий центр, реализованный на уровне самых передовых прорывных технологий».

ОРГАНИЗАЦИИ, УЧАСТНИКИ КПНИ «РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТАНКОСТРОЕНИИ»

Федеральные органы исполнительной власти:

- Министерство обороны Российской Федерации;
- Министерство промышленности и торговли Российской Федерации;
- Министерство образования и науки Российской Федерации;
- Федеральная служба охраны.

Государственные корпорации, фонды, вузы:

- Фонд перспективных исследований;
- Госкорпорация «Роскосмос»;
- ФГАНУ «ЦНИИ РТК»;
- МГТУ им. Н.Э. Баумана;
- Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана;
- МГТУ «СТАНКИН»;
- ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт»;
- ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»;
- ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»;
- ФГБОУ ВО «Московский физико-технический институт»;
- Уфимский государственный авиационный технический университет;
- Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королева;
- Московский государственный университет дизайна и технологий им. А.Н. Косыгина.

Организации ФАНО:

- Институт машиноведения им. А.А. Благонравова – координатор;

- Объединенный институт высоких температур;
- Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша;
- Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова;
- Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского;
- Институт конструкторско-технологической информатики;
- Институт проблем машиноведения;
- Институт проблем машиностроения;
- Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения РАН;
- Институт проблем химической физики.

Организации-партнеры (20 организаций):

- АО «Объединенная двигателестроительная корпорация»;
- АО НПЦ газотурбостроения «Салют»;
- Государственный научный центр Российской Федерации ФГУП «НАМИ»;
- ОАО ВНИИИнструмент;
- ФГУП ВИАМ;
- ОАО «Национальный институт авиационных технологий»;
- ОАО «Станкопром» ГК «Ростехнологии»;
- ООО «СТАН»;
- ОАО «Экспериментальный научно-исследовательский институт металлорежущих станков»;
- ООО МНПО «Спектр».

НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНЫХ ПРОРЫВОВ БЛИЖАЙШЕГО БУДУЩЕГО

Практический эффект синергии требует внимания к системным проблемам мехатроники – объединению узлов точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами таким образом, который обеспечивает проектирование и производство качественно новых модулей, систем и машин с интеллектуальным управлением их функциональными движениями. Речь идет об интеграции знаний из таких ранее обособленных областей, как прецизионная механика, компьютерное управление движением, информационные технологии и микроэлектроника.

В свою очередь, выдающиеся точностные параметры, получаемые на современном оборудовании, достигаются благодаря использованию в мехатронных модулях двигателей новых поколений, например, линейных, управляемых асинхронных электродвигателей, вентильных, пьезоэлектрических, шаговых.

Важнейшей задачей при концептуальном проектировании машин нового поколения является выбор кинематической структуры – его эффективность во многом определяет главные технические характеристики системы, ее динамические, скоростные и точностные параметры. Перспективное направление исследований – создание машин с параллельной кинематикой (МПК).

Логика их развития охватывает плоские механизмы с замкнутой кинематической цепью и одной степенью свободы, пространственные механизмы, а также характерные для роботов механизмы с незамкнутой цепью и замкнутыми цепями, имеющими большое число степеней свободы.

Примером реализации прорывной технологии параллельной структуры можно считать механизм Orthoglide. В нем приводы выполнены в виде линейных двигателей, призматические пары являются входными, а движение на конечное звено передается через параллелограммы, включающие вращательные звенья. Это упрощает управление механизмом и положительно влияет на точность позиционирования.

Один из самых известных механизмов, в котором удачно реализовано свойство сохранения постоянной ориентации, – робот Delta. Данный тип манипулятора имеет три одинаковые цепи, состоящие из трех вращательных кинематических пар, оси которых параллельны, и шарнирного параллелограмма, оси вращательных пар которого перпендикулярны оси приводной вращательной пары. Такая конфигурация параллелограмма эквивалентна поступательной кинематической паре. В этом механизме возможно введение дополнительного вращения выходного звена за счет еще одного вращательного двигателя, движение которого передается четвертой кинематической цепью, выполненной наподобие карданного вала.

Наличие параллелограммов в механизмах Delta и Orthoglide в конструкции кинематических цепей является общим свойством, однако дополнительное число кинематических пар усложняет конструкцию. В качестве решения этой проблемы предложены манипуляторы, в которых достигнуто свойство изоморфности: каждый линейный двигатель перемещает выходное звено лишь по одной декартовой координате с передаточным соотношением, равным единице.

Постоянства ориентации выходного звена можно достичь также за счет того, что в каждой из трех кинематических цепей установлены два карданных шарнира, – тогда три кинематических цепи «отбирают» три возможных вращения. В сферических механизмах передача движения осуществляется между взаимопересекающимися осями, а выходное звено представляет собой вращающуюся вокруг трех осей платформу. Такие манипуляторы применяются в устройствах для ориентирования антенн, телескопов, в испытательных стендах, для обработки сферических поверхностей, в смесителях.

Особенность пространственных механизмов параллельной структуры – частичная или полная кинематическая развязка, что позволяет исследовать

механизмы с большим числом степеней свободы. Интерес представляют механизмы с четырьмя степенями свободы, у которых выходное звено совершает поступательные движения, а также вращения вокруг параллельных осей, например, расположенных вертикально. При синтезе механизмов с шестью степенями свободы (гексаподов) проблема развязки приобретает особое значение.

В гексаподных машинах достигается высокая точность измерений и обработки, обеспечиваемая повышенной жесткостью стержневых механизмов, применением прецизионных датчиков обратной связи и лазерных измерительных систем, использованием компьютерных методов коррекции (например, тепловых воздействий), а отсутствие направляющих дает улучшенные массогабаритные характеристики и материалоемкость. Перспективы дальнейшего развития технологических машин-гексаподов связано с применением интеллектуальных линейных мехатронных модулей и управлением их движением в реальном времени.

Уникальное решение параллельной кинематики с пятью степенями свободы применено в немецких обрабатывающих центрах METROM – они используются в областях, где требуются высокоточные изделия, в частности в судостроении и аэрокосмической области. Станки METROM позволяют производить эффективную обработку больших и тяжелых изделий по пяти сторонам без переустановки, обеспечивая значительное увеличение производительности.

Российские организации по ряду направлений сегодня работают на передовом уровне мирового станкостроения. Например, робот-станок РОСТ-300 (разработка ИМАШ РАН и ОАО «НИПТИ «Микрон») с шестью степенями свободы предназначен для финишной обработки пера лопаток газовых и паровых турбин, энергетических стационарных и передвижных установок, газоперекачивающих станций, газотурбинных двигателей, лопастей водяных турбин, гребных винтов различного назначения и прочих деталей со сложными пространственными формами. Станок имеет нетрадиционную компоновку, предложенную институтом машиноведения РАН: полное отсутствие прямолинейных направляющих, все формообразующие движения, необходимые для обработки пера лопатки, реализуются круговыми движениями приводных звеньев манипулятора.

В ИМАШ РАН создана перспективная модель 5-координатного робота типа METROM (рис. 1).

Робот-трубоход на основе механизма параллельной структуры типа додекапод с 12-ю степенями свободы с использованием нового типа движителей создан совместно сотрудниками МГТУ им. Н.Э. Баумана и ИМАШ РАН.

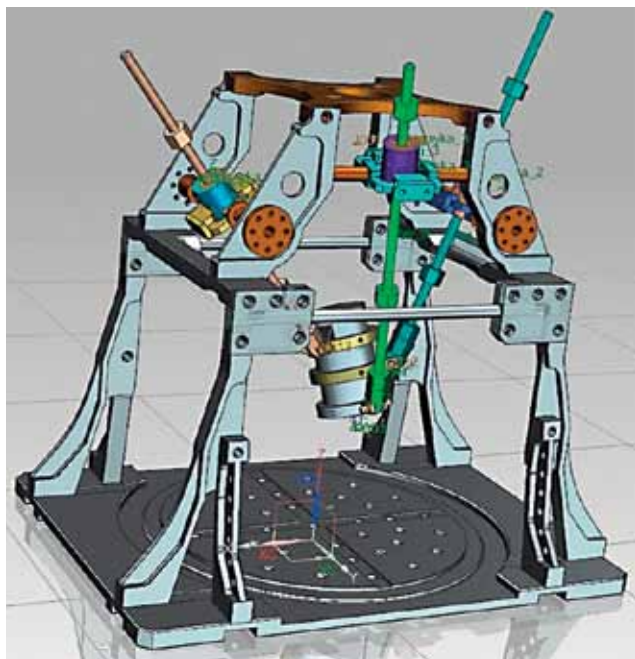


Рис. 1. Перспективный станок типа METROM



Рис. 2. Раскатный стан для изготовления дисков турбин в условиях сверхпластичности

В ходе совместных фундаментальных исследований Института проблем сверхпластичности металлов (ИПСМ) РАН и ИМАШ РАН разработана уникальная технология для раскатки дисков из жаропрочных никелевых сплавов и создано соответствующее оборудование – раскатный стан (рис. 2). Изготовленные на нем диски компрессора газотурбинных авиационных двигателей служат в три раза дольше, чем произведенные с помощью традиционных методов. Новая технология отлично подходит для создания разнообразных деталей из жаропрочных сплавов, над которыми работают, в частности, отраслевые ученые из Всероссийского института авиационных материалов, Всероссийского института легких сплавов и т.д.

Виктор Глазунов уверен, что достигнутый уровень нынешних научных исследований ИМАШ, воплощенный

в виде конкретного оборудования, является неплохой базой для мощного технологического рывка, который предстоит совершить в рамках КПНИ. Гораздо более впечатляющих результатов можно достичь, если объединить усилия различных российских научных организаций. Перечислим далее предложения научных организаций РФ в общую «копилку идей» КПНИ.

ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ СЛОЖНО-ИНТЕГРИРОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Борис Базров, профессор ИМАШ РАН, напоминает о различных аспектах понятия «технологичность» оборудования: «Большая часть исследовательских работ традиционно посвящается технологичности изделия на этапе его изготовления, в то время как аспекты технологичности изделия на этапах его эксплуатации и утилизации незаслуженно оказываются в тени». Эта особенность процессов разработки, известная еще в прошлом веке, приобретает гораздо более важное значение в нынешних условиях. Действительно, требуемая сегодня гибкость функционирования станков достигается за счет гораздо большей, чем раньше, универсальности и способности к оперативной перестройке. «Понятие технологичности нового оборудования должно охватывать весь жизненный цикл изделия и включать все его свойства, так или иначе влияющих на достижение оптимальных затрат ресурсов при его производстве, ремонте и утилизации», – уверен Борис Базров.

Например, изначальная комплексность технологического изделия приводит к тому, что ее нужно учитывать на всех этапах жизненного цикла, и на каждом находить оптимальное решение. Свое-



Борис Базров, профессор ИМАШ РАН

образная обратная сторона комплексности – зависимость работы оборудования от уровня технологии и условий, в которых изготавливается, эксплуатируется и утилизируется изделие. Например, если одно и то же изделие изготавливается на разных предприятиях с разным уровнем технологии, то в одном случае изделие будет технологичным, а в другом может оказаться нетехнологичным.

Еще один проблемный аспект комплексности изделия заключается в том, что традиционно поставщик предлагает один и тот же станок разным отраслям, то есть



Аркадий Шитов, научный сотрудник ИМАШ РАН

что станки создаются не под конечное изделие, а под метод обработки. Для перспективного оборудования нового поколения такой подход неприемлем: станок должен обладать способностью персонализироваться, то есть настраиваться на конкретные конечные изделия, например с помощью агрегации узлов.

Методы и средства диагностики и мониторинга станочного оборудования – традиционное направление исследований, которые идут в ИМАШ РАН. Как рассказывает научный сотрудник ИМАШ РАН Аркадий Шитов, передовые системы такого рода функционируют на базе специальной модели – дерева отказов, а сама диагностическая модель оперирует огромными объемами данных, снимаемых с датчиков, и, по сути, является интеллектуальной системой.

Диагностический мониторинг дает возможность проводить экспресс-анализ технического состояния станков и выявлять дефекты разного вида (функциональные, параметрические, зарождающиеся) в конструкциях узлов и агрегатов станков, а также определять причины отказов – конструкторские, технологические, эксплуатационные. «Интеллектуальная диагностическая система способна обнаруживать даже такие отказы, которые невозможно было предсказать на этапе проектирования», – под-

черкивает Аркадий Шитов. В целом, такие средства дают существенную экономию эксплуатационных издержек, в том числе за счет прогнозирования износа деталей и узлов станка, что определяет рабочий ресурс станков, сокращение сроков выполнения ремонтных работ, планирование сроков проведения ремонта станков и закупки комплектующих изделий, снижение простоев оборудования по причине отказов.

По направлению вибродиагностики исследования ведутся совместно с Институтом проблем машиностроения (ИПМ) РАН (Нижний Новгород), являющимся филиалом Института прикладной физики РАН. Эти научные исследования не теряют своей актуальности в течение десятилетий. Как напоминает Владимир Ерофеев, директор ИПМ РАН, специалисты знали, что виброзащита советских автомобилей «Волга» была лучшего качества, чем у Mercedes-Benz. Сегодня коллектив продолжает разрабатывать уникальные системы управления обрабатывающими центрами, которые повышают надежность, точность и энергоэффективность путем гашения вибрационных нагрузок от внутренних и внешних источников.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

Одна из прорывных современных тенденций в робототехнике связана с переносом части функциональной нагрузки с механических компонентов на программное обеспечение (ПО). Это формирует широкий спектр задач, нуждающихся в основном научном исследовании. В частности, рабочая поверхность для манипулятора робота традиционно рассматривалась как гомогенная, то есть с одинаковыми значениями всех параметров по всей своей площади. Однако на практике это не так, отмечает Иван Ермолов, профессор РАН, и приводит аналогию из живой природы: человек, сидящий за столом, принимает различные позы в зависимости от специфики текущей деятельности – пишет рукой на бумаге, читает текст на экране или разговаривает с собеседником. Соответствующее научное направление ИПМ занимается исследованиями



Владимир Ерофеев, директор ИПМ РАН



Иван Ермолов, профессор РАН

и разработкой специализированного ПО оптимизации траектории рабочей операции в рабочей зоне.

В ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН идут разработки новой архитектуры вычислений, основанной на применении графической информации. Профессор ИПУ РАН Алексей Толочек поясняет, что в основе исследовательских работ лежат так называемые воксельные модели. Воксель часто сравнивают с пикселем, с той разницей, что пиксель является элементом на плоскости, а воксель – элементом объема. Основной характеристикой модели, составленной из вокселей, является разрешение, то есть количество элементов объема в данной модели.

Чаще всего в качестве примитивов вывода воксельной модели выступают кубы, располагающиеся в узлах равномерной сетки.

Данная архитектура построения трехмерной модели обеспечивает простое описание сложных объектов, трехмерных сцен. Структура получаемой модели также позволяет без сложностей выполнять разрезы и сечения. Фактически, воксельная архитектура позволяет разрабатывать альтернативные способы решения задач геометрического моделирования.

Данный метод нашел применение для решения широкого класса задач, приводимых к геометрической постановке, что дает основание рассматривать ее в качестве



Али Албагачиев, профессор ИМАШ РАН

модельной основы для развития аналитических САПР и АСУ.

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ

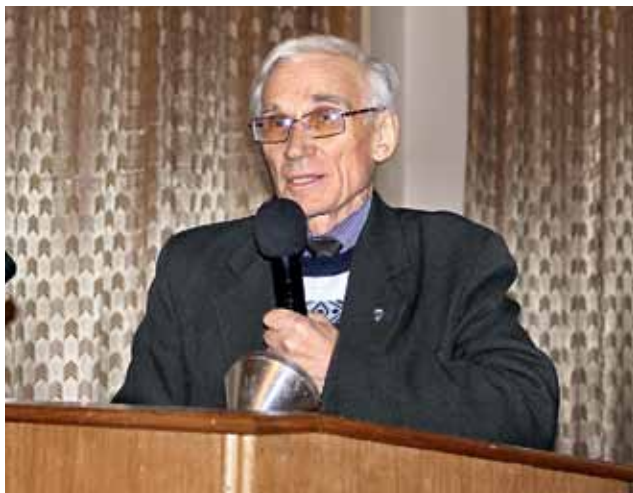
Авторезонансные системы для обрабатываемых центров, использующие акустические воздействия для повышения эффективности обработки поверхностей – направление исследований, которое в ИМАШ РАН возглавляет профессор Владимир Асташев. Влияние ультразвука на обработку поверхностей – это явление, известное с середины прошлого века. Однако в течение длительного времени технологии дан-

ного класса почти не находили практического применения в силу слишком неэффективного процесса поиска резонансной частоты. Российские ученые нашли решение проблемы, предложив отказаться от вынужденных колебаний в пользу автоколебаний.

Научный коллектив ИМАШ РАН под руководством профессора Али Албагачиева ведет разработку фундаментальной теории механической обработки и тепловых процессов (теплофизика резания). «В современное понятие качества поверхности входят не только требуемые точность формы и шероховатость, но и упрочнение, обычно характеризующее



Владимир Асташев, профессор ИМАШ РАН



Вячеслав Афонин, профессор ИМАШ РАН

твердостью, макро- и микроструктурой, уровне остаточных напряжений и фазовым составом, – поясняет Али Албагачиев. – Для прогнозирования показателей качества, которые получатся в результате механической обработки, необходимо, прежде всего, высокоточное определение напряженно-деформированного состояния заготовки в процессе ее обработки с заданными режимами. Однако сегодня соответствующие расчеты проводятся, главным образом, с помощью эмпирических выражений». Более того, многие наблюдаемые физические закономерности, например различные виды стружки, до сих пор не имеют формальных описаний с позиций механики деформируемого твердого тела.

Этот пробел призвана закрыть теория резания металлов, созданная на базе механики деформируемого твердого тела. Она позволяет дать строгое математическое объяснение многих экспериментальных закономерностей и обеспечивает получение высокоточных расчетных формул без использования каких-либо экспериментальных поправочных коэффициентов.

На основании разработанной математической модели можно выполнять не только прямые расчеты температуры, но и обратные, то есть по заданной оптимальной температуре рассчитывать оптимальные режимы резания.

Серьезную исследовательскую работу в области сложных интеллектуальных технологических комплексов совместно ведут ученые и отраслевые специалисты ИМАШ РАН и НИИД ФГУП «НПЦ газотурбостроения «Салют». Актуальность таких работ профессор ИМАШ РАН Вячеслав Афонин поясняет на примере одной детали – пера лопаток газотурбинных двигателей или газоперекачивающих станций: «Изготовление лопаток по тру-



Владимир Павловский, ведущий научный сотрудник ИПМ им. М.В. Келдыша РАН

доемкости составляет до 30% общей трудоемкости изготовления двигателя. Причем, в общей трудоемкости изготовления лопаток большой объем (до 45%) занимают финишные ручные полировально-доводочные работы, которые требуют труда высококвалифицированных и высокооплачиваемых рабочих».

При этом, после предварительных операций нельзя получить все участки пера лопаток с одним минимально возможным допуском. Так на угол закрутки из-за ажурности пера (особенно это относится к авиационным двигателям пятого поколения) и его деформации после предварительной обработки назначается большой допуск, но одновременно входную и выходную кромки, усилительные полки требуются выполнять с высокой точностью (минимальным допуском).

Это означает, что финишные операции изготовления пера лопаток невозможно производить по одной жесткой программе. Чтобы заменить человека, способного выполнять такую высокоинтеллектуальную операцию, автоматизированной системой необходимо для каждой заготовки, поступающей на финишную операцию, измерить с высокой точностью геометрию сложной пространственной поверхности проточной части, определить качество поверхности, вписать в нее готовую деталь, а затем для каждой детали назначить индивидуальную программу обработки и режимы обработки.

Специалисты ИМАШ РАН и НИИД ФГУП «НПЦ газотурбостроения «Салют» создали опытный образец робота-станка для высокоточной финишной обработки деталей, в том числе сложнопрофильных турбинных лопаток. Она включает оптическую систему контроля геоме-



Владимир Пуха, ведущий научный сотрудник
Института проблем химической физики РАН

трических параметров пера лопаток, разработанную ОИВТ РАН, алгоритм определения управляемых координат робота, 5-координатную систему управления привода. К ней может подключаться робототехническая система W081 Robot-System для шлифования и полирования лопаток ГТД и транспортная система подачи лопаток к месту контроля и обработки.

ДВИГАТЕЛИ ДЛЯ РОБОТОВ

Группа исследователей из ИПМ им. М.В. Келдыша РАН и ИМАШ им. А.А. Благодирова РАН ведет разработки передовых приводов линейных перемещений. По словам Владимира Павловского, ведущего научного сотрудника ИПМ, сегодняшний уровень разработок двигателей постоянного тока дает возможность получить 255 градаций скорости и 2000 отсчетов (возможно увеличение до 4000). Использование динамической модели процессов позволило получить высокоточный быстродействующий привод с универсальной системой управления, обеспечивающий плавность хода (изменения скорости), динамику в старт-стопном и контурном режиме.

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Технологии создания новых композитных материалов на основе металлических и керамических систем переживают сегодня настоящий бум. Одновременно с разработками новых материалов, научное сообщество решает многочисленные проблемы улучшения структуры и механических свойств металлических материалов, получаемых с исполь-

зованием аддитивных технологий. К числу дефектов относятся поры и не полностью консолидированные локальные области материала, которые сегодня присущи всем аддитивным технологиям, в частности, сферические поры занимают до 0,1% объема материала. «Последствия наличия пористости – в прямом смысле слова разрушительные, – поясняет Владимир Пуха, ведущий научный сотрудник Института проблем химической физики РАН. – Пористость приводит к снижению прочности, особенно при циклических нагрузках, анизотропии механических свойств, хрупкости, снижению ударной вязкости и др.»

Научный коллектив Института проблем химической физики РАН (Черноголовка) и МГУ им. М.В. Ломоносова под руководством Владимира Пуха занимается разработкой аддитивных 2D- и 3D-технологий композитов на основе металлических и керамических систем с использованием аэрозольного осаждения. Следует отметить, что технология холодного аэрозольного осаждения из высокоскоростных (сверхзвуковых) струй была разработана в конце 80-х годов в Новосибирске, и с тех пор в мире идет ее развитие.

Сегодня можно говорить о возвращении нашей страны на уровень мировых технологических разработок – в 2015 году в ИПХФ РАН заработала первая в России лабораторная установка холодного аэрозольного осаждения с использованием сверхзвуковой струи порошков в вакууме. В частности, лаборатория занимается исследованиями перспективных материалов для лезвийного инструмента на базе твердых сплавов кобальт – карбид вольфрама (WC-Co), оксида алюминия (Al_2O_3) и нитрида титана (TiN). Полученные результаты демонстрируют значительное улучшение качества области осаждения покрытий, что особенно заметно для хрупких материалов.

Исследования оксидной керамики (диоксид циркония ZrO_2), проведенные в лаборатории, привели к разработке уникального метода «холодного» нанесения пленок тугоплавких материалов с кристаллической структурой с высокой производительностью (скорость осаждения свыше $10 \text{ мм}^3/\text{мин}$), возможностью получения наноструктурных покрытий (дробление структуры исходного порошка в покрытии более чем на порядок). Отличительные особенности метода: консолидация порошка при комнатной температуре с высокой плотностью и высокая адгезия (сцепление поверхностей разнородных твердых и/или жидких тел) покрытий, наносимых при комнатной температуре. Например, для слоя $\alpha-Al_2O_3$ она составляет более 64 МПа на подложке из синтетического сапфира, для менее твердых подло-



Владимир Бирюков, ведущий научный сотрудник ИМАШ РАН

жек типа Cu , Ni или Ti величина адгезии может быть выше.

Как подчеркивает Владимир Пуха, формируемый из сверхзвуковой струи слой остается интегрально холодным, что позволяет консолидировать различные порошковые материалы (тугоплавкие, легкоплавкие, растворимые, биологически активные и др.), в том числе имеющие различный гранулометрический состав. В частности, возможно получать плотные керамические конструкции макро- и микро-размеров при комнатной температуре без дополнительных отжигов, а также конструкции из керамических композитов, композитов металл – керамика и последовательных слоев керамика – керамика и керамика – металл в одном цикле.

Метод позволяет создавать покрытия (изделия) сложной планарной и объемной конфигурации, в том числе пористые 2D- и 3D-структуры, а также допускает модификацию поверхностных слоев подложки ударными волнами. Таким образом, помимо нанесения покрытия, возможен режим чистки и распыления поверхности подложки.

В целом, технологии холодного аэрозольного осаждения представляются перспективными для получения тугоплавких и жаростойких соединений (включая МАХ-фазы и сложные оксиды на основе переходных металлов и кремния), тонких и толстых (доли миллиметра) пленок и покрытий для радиолокационной «невидимости» (оксидные слои с высокой диэлектрической и магнитной проницаемостью), а также медицинских применений (композиты с гидроксипатитом, керамические покрытия на базе ZrO_2 для искусственных суставов и т.п.).

В ИМАШ РАН идут исследования в области инновационных упрочняющих и аддитивных лазерных технологий, в частности разрабаты-

ваются технологии поверхностного лазерного упрочнения для таких деталей машин, долговечность которых определяется их износостойкостью и усталостной прочностью. В таких случаях, с помощью лазерного упрочнения среднеуглеродистых сталей достигается высокая прочность, заглаживаются поверхностные трещины, уменьшается шероховатость поверхности, что повышает усталостную прочность.

Перспективное направление – широкополосная лазерная наплавка (до 20 мм), позволяющая значительно увеличить площадь пятна нагрева и, как следствие, производительность процесса, сохраняя неизменной плотность мощности лазерного излучения. Ведущий научный сотрудник ИМАШ РАН Владимир Бирюков рассказал, что в ходе исследований, проведенных в институте, разработаны технологии лазерного упрочнения плоских поверхностей трения при частоте сканирования луча 150–600 Гц, технологии лазерного упрочнения с использованием гальванометрического сканера IPG 2D и волоконных лазеров мощностью 1–4 кВт с шириной зоны закалки 15–52 мм и глубиной до 2,5 мм за один проход руки робота. Проведенные испытания на абразивное изнашивание по схеме Бринелля – Хаворта показали повышение износостойкости наплавленных покрытий в 10 раз по сравнению с нормализованной сталью 40Х.

Разработана также технология лазерной наплавки порошковых материалов на основе никеля с шириной наплавленного слоя 20–80 мм и высотой валика 3–9 мм за один проход руки робота. Технологии упрочнения и наплавки на основе волоконных лазеров обеспечили существенное повышение показателей износостойкости деталей, работающих в условиях ограниченной смазки или без смазочного материала. Так, для образцов стали 40ХН2МА показатели износостойкости и зади-



Александр Полилов, профессор, ИМАШ РАН

ростойкости упрочненных зон были в 1,5–2,0 раза выше, чем для образцов, прошедших азотирование. А износостойкость наплавленных покрытий была в 10 раз выше по сравнению с нормализованной сталью 40Х.

С помощью технологии широкополосной лазерной наплавки, разработанной в ИМАШ РАН, на универсальном оборудовании из порошковых материалов на основе никеля выращены заготовки деталей с толщиной стенки 1–4 мм и максимальными размерами 240 × 240 × 160 мм. Произведена наплавка опытной партии зубьев ковшей экскаватора. Для этих целей применялся промышленный принтер, предназначенный для выращивания изделий из порошков на базе волоконного лазера 1000 Вт с производительностью 10–100 см³/ч, областью построения 630 × 400 × 500 мм.

Перспективная область применения данной технологии – авиационная и ракетно-космическая промышленности, которые предъявляют повышенные требования к весу деталей. В частности, изготовленные корпуса редукционного клапана для гидросистем с помощью аддитивной технологии лазерной наплавки привело к уменьшению массы детали на 60%.

Перспективы создания и применения новых конструктивных материалов волокнистого строения (а также армированных пленками, «усами», микросферами, нанотрубками и др.) связаны, в основном, с новыми технологическими решениями, использованием которых невозможно без такой области науки, как технологическая механика. Александр Полилов, профессор ИМАШ РАН, отмечает, что сегодня даже в инновационных сферах продолжает действовать инерция традиционного конструкторского мышления: технологи продолжают мыслить в рамках проектирования с материалами с прямолинейной или цилиндрической анизотропией, хотя при использовании современных роботов можно создавать произвольные структуры армирования изделий. Методы крепления композитных деталей с помощью заклепок и клеев также основаны на предыдущем опыте работы с металлами.

Исследования под руководством Александра Полилова направлены на разработку принципиально новых полимерных волокнистых композитов (одного из революционных направлений в конструктивном материаловедении не только для космоса и авиации, но и для наземного транспорта) с криво-



линейными траекториями укладки волокон и неплоскими поверхностями раздела, что играет важную роль в повышении прочности композитов. «Поскольку композит, по сути, не существует вне изделия (материал и конструкция создаются одновременно), задача состоит в выборе конструкции и способа крепления под волокнистый материал, а не только в подборе схемы армирования под известную деталь», – подчеркивает Александр Полилов. Он поясняет на примере задачи прочности анизотропных волокнистых композитов, что наиболее перспективный способ «сбрасывания» концентрации напря-

жений около отверстий подсказывает сама природа – он заключается в «обтекании» волокнами отверстий, подобно тому, как линии напряжений «обтекают» препятствие (Stress Flow around Holes). При этом волокна оказываются практически равнонапряженными, то есть снимается эффективная концентрация напряжений. В числе прочего такой подход останавливает развитие трещин.

Теоретические исследования показывают снижение эффективной концентрации напряжений (рост несущей способности) более чем в пятый раз.

Таким образом, конференция «Научные проблемы станкостроения. Ход выполнения КПНИ «Разработка научных основ инновационных технологий в станкостроении» выполнила свою главную задачу – сделан обзор наиболее продвинутых фундаментальных научных исследований в сфере перспективного станкоинструментального оборудования. По мнению Виктора Глазунова, проявляются точки интеграции научной мысли и перспективы выхода на уровень серийного производства. Очевидно, что рассчитывать на резкое улучшение ситуации с госфинансированием не приходится. «Однако в отсутствие продуманной программы совместных действий шансы получить финансирование вообще стремятся к нулю, – резюмировал Виктор Глазунов. – Будем продолжать и дальше выстраивать совместные системные проекты, чтобы в последующие годы реализации КПНИ довести их до работающего оборудования».

Материал подготовила Елена Покатаева

Фото – Сергей Новиков