

СТАНКОИНСТРУМЕНТ

НАУКА | ПРОЕКТИРОВАНИЕ | ПРОИЗВОДСТВО

Вдохновляющая история пути от гаража на заднем дворе до ультрасовременного промышленного парка

Тема номера

**Технологии
и оборудование
аддитивного
производства**

Юбилейный год:
ISCAR отпразднует
70-летие со дня основания
и 25-летие на российском
рынке | с. 10

Отраслевые перспективы
внедрения аддитивных
технологий | с. 34

Некоторые особенности
формирования структуры
и свойств новых
алюминиевых сплавов
при аддитивном
производстве | с. 44

Влияние добавок
мультиграфена на свойства
изделий, спеченных из
порошков нержавеющей
и инструментальной
стали | с. 82



ТЕХНОСФЕРА
РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

www.stankoinstrument.su

www.technosphere.ru





СТАНКОМАШСТРОЙ

РОССИЙСКИЙ
СТАНКОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД

СЕРИЯ **VTM**

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ
ОБРАБАТЫВАЮЩИЕ ЦЕНТРЫ



Вертикальные обрабатывающие центры серии VTM предназначены для фрезерования и сверления по трем или четырем координатным осям. Прочная литая станина обеспечивает минимизацию вибраций и максимальную стабильность при высокопроизводительной обработке. Направляющие способны выдерживать большую нагрузку, обеспечивают прочность и высокую надежность станка. Жесткий шпиндель гарантирует высокопроизводительную обработку деталей.

WWW.16K20.RU



8 800 250-88-55

Г. ПЕНЗА, УЛ. ГЕРМАНА ТИТОВА, 9



ПЕРЕДОВЫЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

СОЗДАНО В РОССИИ



Высокие технологии

Современные системы ЧПУ, микропроцессорные генераторы собственной разработки, проведение НИОКР по созданию специального оборудования в области микроэрозии



Каждый станок АРТА производится в России

Официальное подтверждение Минпромторга РФ в рамках постановления Правительства Российской Федерации № 719 от 17.07.2015



Широкие возможности

Эффективное применение для широкого спектра задач электроэрозии: изготовление штампов, пресс-форм, инструмента, различных специальных изделий



Более 25 лет опыта

в разработке, совершенствовании и изготовлении сложного прецизионного оборудования для электроэрозионной обработки материалов

Научно-Промышленная Корпорация «Дельта-Тест»

Россия, 141190, Московская область, г. Фрязино,
территория Восточная Заводская промышленная, 4а

Председатель редакционного совета

Паничев Николай Александрович,

Почетный председатель совета директоров Ассоциации «Станкоинструмент», член консультационного Совета Минпромторга России, академик Международной инженерной академии

Заместители председателя

Бочкарев Олег Иванович,

к.э.н., заместитель председателя коллегии Военно-промышленной комиссии Российской Федерации

Иванов Михаил Игоревич,

заместитель министра Минпромторга России

Панченко Владислав Яковлевич,

д.ф.-м.н., профессор, академик РАН, научный руководитель ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН

Федоров Игорь Борисович,

д.т.н., профессор, академик РАН, президент МГТУ им. Н.Э. Баумана

Члены редакционного совета (руководители или представители)

Отраслевые союзы и ассоциации,
Общественные организации:

Самодуров Георгий Васильевич,

к.т.н., член-корр. Международной инженерной академии, президент Ассоциации «Станкоинструмент», председатель Комитета по станкостроению Союза машиностроителей России

Ткаченко Станислав Степанович,

д.т.н., профессор, президент Ассоциации литейщиков Санкт-Петербурга и Ленинградской области

Станкостроительные холдинги,
группы компаний и предприятия:

Васильев Сергей Радомирович,

председатель совета директоров ООО ВСЗ «Техника»

Володин Алексей Михайлович,

академик Кузнечной академии, генеральный директор ОАО «Тяжпрессмаш»

Волкомич Анатолий Александрович,

к.т.н., профессор, академик Академии проблем качества, генеральный директор ОАО «Литаформ»

Йоффе Михаил Александрович,

д.т.н., профессор, ООО «Литье-сервис»

Звягинцев Руслан Валерьевич,

к.ю.н., управляющий директор ООО «СТАН»

Краснов Дмитрий Валерьевич,

к.т.н., председатель правления Промышленной группы «Приводная техника»

Лебедев Владимир Вячеславович

Масалов Анатолий Карпович,
генеральный директор ПАО «Сиблитмаш»

Огородов Сергей Сергеевич,

советник генерального директора АО «МИЗ»

Песков Алексей Максимович,

генеральный директор ООО «Станки-Экспо»

Спектор Леонид Бенционович,

генеральный директор ООО «Станкозавод «ТБС», кластер станкоинструментальной промышленности

Научно-исследовательские
и образовательные организации:

Асташев Владимир Константинович,

д.т.н., профессор, ИМАШ РАН

Боровский Георгий Владиславович,

к.т.н., исполнительный директор ФГУП «НПО «Техномаш»

Бойм Александр Григорьевич,

к.т.н., заместитель генерального директора ПАО «ЭНИМС»

Вартанов Михаил Владимирович,

д.т.н., профессор, Московский политехнический университет

Власов Юрий Вениаминович

Воробьев Евгений Иванович,

д.т.н., профессор, ИМАШ РАН

Глазунов Виктор Аркадьевич,

д.т.н., д.ф.н., профессор, директор ИМАШ РАН

Дуб Алексей Владимирович,

д.т.н., профессор, первый заместитель генерального директора АО «Наука и инновации» (ГК «Росатом»)

Казаков Александр Анатольевич,

д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Ковальский Михаил Григорьевич,

к.т.н., генеральный директор, АО «НИИИзмерения»

Козлов Александр Михайлович,

д.т.н., профессор, Липецкий государственный технический университет

Комшин Александр Сергеевич,

д.т.н., профессор, МГТУ им. Н.Э. Баумана

Кориат Ганс-Йоахим,

к.т.н., Dr.-Ing., руководитель направления автоматизации в промышленности, Fraunhofer IWU – Фраунгоферовский институт металлорежущих станков и технологий формообразования

Косников Геннадий Александрович,

д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Крукович Марат Григорьевич,

д.т.н., профессор, Российский университет транспорта (МИИТ)

Кузнецов Александр Павлович,

д.т.н., профессор, МГТУ «СТАНКИН»

Кузнецов Владимир Анатольевич,

д.т.н., профессор, Московский политехнический университет

Куликов Михаил Юрьевич,

д.т.н., профессор, Российский университет транспорта (МИИТ)

Пронякин Владимир Ильич,

д.т.н., профессор, МГТУ им. Н.Э. Баумана

Серков Николай Алексеевич,

д.т.н., ведущий научный сотрудник, ИМАШ РАН

Столяров Владимир Владимирович,

д.т.н., профессор, ИМАШ РАН

Чукарин Александр Николаевич,

д.т.н., профессор, Ростовский государственный университет путей сообщения

Инновационные решения Balluff

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ
ОБОРУДОВАНИЯ СМТК

- Подключение по IO-Link до 4 интеллектуальных датчиков (вибрации, температуры, давления и других)
- Визуализация и сбор данных в реальном времени
- Быстрая и удобная настройка интерфейса
- Возможность масштабирования системы



КОМПОНЕНТЫ СО ВСТРОЕННЫМИ ФУНКЦИЯМИ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ (ВИБРАЦИЯ, ТЕМПЕРАТУРА, НАКЛОН, НАРАБОТКА, КАЧЕСТВО СИГНАЛА И ДРУГИЕ).



- Цифровой индикатор положения регулировочного механизма для применения на линиях с гибкой настройкой формата производства
- Мастер-модуль IO-Link с интерфейсом Profinet и поддержкой REST-API
- Концентраторы сигналов для датчиков и исполнительных элементов
- Оптические и индуктивные датчики
- RFID-головки чтения/записи в цилиндрическом или блочном корпусе
- Индуктивные элементы связи для беспроводной передачи питания и данных

Исполнение для зон с высокими гигиеническими стандартами



www.balluff.ru

ООО «БАЛЛУФ» · 115419 · Москва · Орджоникидзе ул., д. 11, стр. 44, эт. 4, оф. 1
Тел.: +7 495 960 12 11 · E-mail: balluff@balluff.ru · www.balluff.ru



Портрет фирмы

Юбилейный год: ISCAR отпразднует 70-летие со дня основания и 25-летие на российском рынке

А. Е. Крылова

Компания ISCAR (входит в IMC Group) в этом году отметит 70-летие. Сегодня ее высокоточный твердосплавный металлорежущий инструмент широко используется на известных промышленных предприятиях автомобильной и аэрокосмической отраслей, в производстве штампов и пресс-форм во всем мире. На долю ISCAR приходится около 10% мирового рынка прецизионного металлорежущего инструмента, и она уверенно смотрит в будущее.

Актуальное интервью

Перспективы компании ESAB на среднеазиатском рынке

Колонка Минпромторга

Новости отрасли

Выставки, конференции, события

Как поддержать курс на импортозамещение и остаться в плюсе?

От моделей и прототипов – к серийному производству

Company Portrait

10 Anniversary Year: ISCAR Celebrates Its 70th Anniversary and 25 Years on the Russian Market

A. E. Krylova

ISCAR Company (part of the IMC Group) is celebrating its 70th anniversary this year. Today, its precision carbide cutting tools are used extensively in renowned automotive, aerospace, die and mould making industries around the world. ISCAR represents around 10% of the world's precision metal cutting tool market and looks confidently to the future.

Topical Interview

16 Prospects for ESAB in the Central Asian Market

20 Column of the Ministry of Industry and Trade

22 Industry News

Exhibitions, Conferences, Events

24 How to Support Import Substitution and Stay in the Black?

28 From Models and Prototypes to Serial Production

Журнал «СТАНКОИНСТРУМЕНТ» № 1, 2022 год

Учредители:

РИЦ «ТЕХНОСФЕРА»,
Ассоциация производителей станкоинструментальной
продукции «Станкоинструмент»

Издатель – РИЦ «ТЕХНОСФЕРА»

Генеральный директор: О. Казанцева

Главный редактор: С. Новиков

Зам. главного редактора: Н. Юденков

Обозреватель: Е. Покатаева

Выпускающий редактор: О. Разговорова

Верстка: А. Небольсин

Корректор: А. Лужкова

Реклама

Директор по развитию:

Г. Логинова | recntb@electronics.ru

Менеджеры по рекламе:

Л. Карякина | rec-knigi@electronics.ru,
О. Лаврентьева | stanko@technosphera.ru

Сбыт и подписка:

А. Метлов | sales@electronics.ru,
Е. Зайкова | magazine@technosphera.ru

СТАНКОИНСТРУМЕНТ ©

Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору
в сфере связи, информационных технологий и массовых
коммуникаций (Роскомнадзор) 07 сентября 2017 г.,
свидетельство о регистрации СМИ ПИ №ФС77-70979

Журнал издается с 2015 года. С 2016 – 4 раза в год.

Журнал включен в Перечень ВАК 19.04.2019 г.

Тираж 4500 экземпляров. Цена договорная.

Номер заказа 306138.

Подписано в печать 14 февраля 2022 года.

Отпечатано в соответствии с предоставленными материалами
в типографии ООО «Вива-Стар»:

© 107023, г. Москва, ул. Электrozаводская д. 20,
П +7 495 737-63-53

При перепечатке ссылка на журнал «СТАНКОИНСТРУМЕНТ»
обязательна. Мнение редакции не всегда совпадает
с точкой зрения авторов статей. Рукописи рецензируются,
но не возвращаются. За содержание рекламных материалов
редакция ответственности не несет.

Адрес редакции:

© Москва, ул. Краснопролетарская, д. 16, стр. 2, под. 5

Для писем: 125319, г. Москва, а/я 91

П +7 495 234-01-10, факс: +7 495 956-33-46

Мнения экспертного сообщества

Отраслевые перспективы внедрения аддитивных технологий

Материалы виртуального круглого стола, на котором обсуждались основные проблемы развития отрасли аддитивных технологий в России и пути их решения.

Технологии и оборудование аддитивного производства

Способ сборки блока аддитивных термоудаляемых литейных моделей

И. О. Леушин, О. С. Кошелев, Л. И. Леушина, А. В. Нищенко, П. М. Явтушенко

Предложен усовершенствованный вариант сборки модельного блока. Модели отливок с питателями и стояка изготавливались 3D-печатью по аддитивной FDM-технологии из CAST-пластика. Приведены результаты проверки эффективности сборки в условиях действующего производства.

Ключевые слова: литье по термоудаляемым моделям, аддитивная технология, 3D-печать, термопластик, выбор, неразъемное соединение, паз, шип, рекомендация

Некоторые особенности формирования структуры и свойств новых алюминиевых сплавов при аддитивном производстве

Д. К. Рябов, И. А. Грушин, А. Г. Сеферян

Представлены результаты исследований ряда алюминиевых сплавов различных систем легирования, получаемых по технологии СЛС, и проведен их сравнительный анализ с традиционными литейными и деформируемыми алюминиевыми сплавами.

Ключевые слова: аддитивные технологии, алюминиевые сплавы, селективное лазерное сплавление, технология послойного синтеза, 3D-печать

Свойства пластика PETG после 3D-печати по технологии FFF Часть 1

П. А. Петров, Д. Р. Агзамова, Н. С. Шмакова, В. А. Пустовалов, Б. Ю. Сапрыкин, И. А. Чмутин, Е. Д. Жихарева

Рассмотрено влияние режима 3D-печати на комплекс механических, оптических и тепловых свойств термопластичного прозрачного полимерного материала PETG (полиэтилентерефталат-гликоль), обработанного по аддитивной технологии FFF (Fused Filament Fabrication). Показано наличие зависимости между коэффициентом пропускания света, толщиной образца и его ориентацией во время 3D-печати.

Ключевые слова: термопластичный прозрачный пластик, PETG, аддитивная технология FFF, 3D-печать, механические свойства, тепловые свойства, оптические свойства, коэффициент пропускания света

Expert Community Opinion

34 Industry Perspectives in the Additive Technologies Implementation

Materials of the virtual round table which discussed the main problems in the development of the additive technology industry in Russia and ways of solving them.

Additive Manufacturing Technologies and Equipment

40 Thermally Removable Casting Models Assembly Method

I. O. Leushin, O. S. Koshelev, L. I. Leushina, A. V. Nischenkov, P. M. Yavtushenko

Improved version of model block assembly is proposed. Models of castings with feeders and riser were made by 3D-printing using additive FDM-technology from CAST-plastic. The results of testing the effectiveness of the assembly in the conditions of the current production are given.

Keywords: injection moulding, additive technology, 3D-printing, thermoplastic, selection, fixed joint, groove, stud, recommendation

44 Features of Structure Formation and Properties of New Aluminium Alloys in Additive Manufacturing

D. K. Ryabov, I. A. Grushin, A. G. Seferyan

Results of studies of a number of aluminium alloys of different systems of alloying, obtained by additive manufacturing technology and their comparative analysis with traditional cast and wrought aluminium alloys are presented.

Keywords: additive technologies, aluminium alloys, selective laser alloying, layer-by-layer synthesis technology, 3D-printing

52 Some Properties of PETG Plastic After FFF 3D-Printing Part 1

P. A. Petrov, D. R. Agzamova, N. S. Shmakova, V. A. Pustovalov, B. Y. Saprykin, I. A. Chmutin, E. D. Zhikhareva

This article discusses the analysis of a set of properties of a thermoplastic transparent polymeric material PETG (polyethylene terephthalate-glycol) after its processing using the FFF additive technology (material extrusion, Fused Filament Fabrication). The effect of the 3D printing mode on the complex of properties of a polymer material is considered: mechanical, optical as well as thermal ones. The obtained results illustrate the relationship between %light transmission, thickness and sample orientation during 3D printing.

Keywords: thermoplastic transparent polymeric material, PETG, FFF additive technology, 3D-printing, mechanical properties, thermal properties, optical properties, %light transmission

Материалообрабатывающие станки

Управление точностью металлорежущих станков. Структурно-параметрические методы Часть 1

А. П. Кузнецов

Обоснована классификация моделей точности металлорежущих станков на три группы, характеризующиеся количеством и видом входящих составляющих, а также достигаемым результатом. Предложена схема выбора системы снижения, коррекции, компенсации и управления точностью станка, с учетом двух классов систем управления точностью.

Ключевые слова: точность станка и детали, информационный и технологический образ изделия, система управления точностью станка

Технологии обработки материалов

Перспективы применения режима квазипластичности для обработки актуальных высокотехнологичных изделий из твердых хрупких материалов

А. А. Панкратов

Рассмотрены различные аспекты применения алмазных материалов для производства инновационных высокотехнологичных продуктов и изделий для приборостроительной, атомной, авиационно-космической и других отраслей промышленности. С целью повышения эффективности обработки твердых хрупких материалов предложено создание устройства или оснастки к действующим серийным шлифовальным станкам, воспроизводящим элементы квазипластичной обработки.

Ключевые слова: квазипластичность, обработка твердых хрупких кристаллических материалов, синтетический алмаз, шлифовальный станочный модуль

Material Machine Tools

60 Precision Control of Machine Tools. Structural and Parametric Methods Part 1

A. P. Kuznetsov

Classification of the metal-cutting machines accuracy models into three groups, characterized by the number and kind of input components, as well as the result to be achieved, is substantiated. A scheme for choosing the system of reduction, correction, compensation and control of machine-tool accuracy is offered.

Keywords: precision of machine tool and workpiece, product information and technological image, machine precision control system

Material Processing Technologies

72 Prospects of Quasiplasticity Mode Application for Machining Actual High-Technology Products from Hard Brittle Materials

A. A. Pankratov

Different aspects of diamond materials application for manufacturing innovative high-technology products and goods for instrument-making, nuclear, aerospace and other industries are considered. With the purpose of increase of efficiency of processing of hard brittle materials it is proposed to create a device or rigging for operating serial grinding machines, reproducing elements of quasiplastic processing.

Keywords: quasiplasticity, machining of hard brittle crystalline materials, synthetic diamond, grinding machine module

Список рекламодателей

ADEM	95
CGTech	7
ESAB	33
MashExpo Siberia	51
Rosmould	39
Армия	3-я обложка
БАЛЛУФ	3
Искар	1-я обложка, 9
Металлоконструкции	79

Металлообработка	4-я обложка
Металлообработка. Сварка-Урал	23
Металлургия. Литмаш	81
НПК Дельта Тест	1
ОКТОПРИНТ СЕРВИС	71
Промтехэкспо	43
Российский промышленный форум	77
Сварка и резка	21
СтанкоМашСтрой	2-я обложка, 27



Доверяете ли вы своей CAM-системе?

Только с VERICUT вы сможете
ПРОВЕРИТЬ и ОПТИМИЗИРОВАТЬ
готовые управляющие программы.

Исключение ручных проверок
Обработка без столкновений и зарезов
Сокращение времени обработки
Повышение стойкости инструмента
Улучшение качества обработанной поверхности
Максимальная производительность

**СБЕРЕГИТЕ ВРЕМЯ. СБЕРЕГИТЕ ДЕНЬГИ.
СБЕРЕГИТЕ ВАШЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

www.cgtech.ru

Влияние добавок мультиграфена на свойства изделий, спеченных из порошков нержавеющей и инструментальной стали

С. А. Ерёмин, В. Н. Аникин, А. Д. Рябцев, П. М. Явтушенко,
А. М. Колесникова, Е. Е. Бобрышева, Д. В. Руденко

По результатам исследования влияния добавки мультиграфена на свойства изделий спеченных из порошков нержавеющей и инструментальной сталей методом горячего прессования показано, что добавки мультиграфена повышают твердость на 10% и снижают пористость на 16%.

Наличие мультиграфена активизирует процесс заживления крупной пористости за счет эффекта критического смачивания.

Ключевые слова: спекание, нержавеющая сталь, инструментальная сталь, мультиграфен, электрохимия, порошок

Образование

Развитие направления «Аддитивные технологии» в системе довузовской подготовки. Опыт использования CAD / CAM / CAPP ADEM

Л. Ю. Дарина

Предложена методика использования интегрированной системы CAD / CAM / CAPP ADEM 9.0 в качестве универсального инструмента решения задачи развития политехнического образования в сфере общего и дополнительного образования.

Ключевые слова: аддитивные технологии, субтрактивные производственные процессы, политехническое образование

Кейс-история

ЦАТ

ОктоПринт Сервис

82 Effect of Multigraphene Additives on Properties of Products Sintered from Stainless and Tool Steel Powders

S. A. Eremin, V. N. Anikin, A. D. Ryabtsev, P. M. Yavtushenko,
A. M. Kolesnikova, E. E. Bobrysheva, D. V. Rudenko

The results of the study of the influence of multigraphene additives on properties of products sintered from stainless and tool steel powders by hot pressing show that additives of multigraphene increases hardness by 10% and decreases porosity by 16%. The presence of multigraphene activates the process of healing of large porosity due to the effect of critical wetting.

Keywords: sintering, stainless steel, tool steel, multigraphene, electrochemistry, powder

Education

92 Development of “Additive Technology” in Pre-University Training. Experience in using CAD / CAM / CAPP ADEM

L. Yu. Dariina

In the article the integrated CAD / CAM / CAPP ADEM 9.0 system is suggested as a universal tool for the polytechnic education development in the sphere of general and supplementary education.

Keywords: additive technologies, subtractive manufacturing processes, polytechnical education

Case Story

18 JSC “ATC”

68 Octo Print service

Подписка

По каталогу «Газеты и журналы агентства «РОСПЕЧАТЬ»

80648 – полугодовой индекс,

80446 – годовой индекс.

АО «МК-Периодика».

ООО «Урал-Пресс».

ООО «ИНФОРМНАУКА» – зарубежная подписка.

В редакции журнала:

☎ +7 495 234-01-10 (доб. 335)

✉ magazine@technosphaera.ru

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

На сайте Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU доступны полные тексты статей. Статьи из номеров журнала текущего года предоставляются на платной основе.

Подписаться на электронную версию можно на сайтах

✦ www.electronics.ru,

✦ www.elibrary.ru,

✦ www.e.lanbook.ru

Applications for foreign subscribers are accepted by INFORMNAUKA agency

☎ +7 495 787-38-73

✦ www.informnauka.com

✉ nikitina@viniti.ru

Адреса офисов компании ООО «Искар» в России

Головной офис
Мытищи, Московская обл.
8 (495) 660-91-25
ул. Центральная с 20Б, БЦ Quadroom, этаж 8

г. Челябинск
8 (351) 277-74-32
454007, пр. Ленина, 26а/2

г. Ростов на Дону,
8 (863) 200 83 70,
344000 пр-т Соколова, д. 53/182

г. Екатеринбург,
8 (343) 305-91-25,
ул. Сибирский тракт, д. 12, стр. 3



Member IMC Group

www.iscar.ru



NEOLOGIQ
MACHINING INTELLIGENTLY

Обработка без границ
с новой серией Нео-Лоджик от Искар

г. Омск,
644046 ул. 5-я Линия 157А

Санкт-Петербург
ул. Чапаева, д. 15, корп. 2, литера В

г. Нижний Тагил
622051 ул. Юности д. 2а

г. Нижний Новгород
603016 ул. Юлиуса Фучика, д. 6А

г. Набережные Челны,
423825 ул. Абдуллы Алиша, д. 9

г. Красноярск,
660049 ул. Карла Маркса, д. 48

г. Тюмень,
8 (3452) 51-55-17,
625048 ул. Новгородская 10
г. Рыбинск,
152903 пр. Ленина, д. 148

Юбилейный год: ISCAR отпразднует 70-летие со дня основания и 25-летие на российском рынке

А. Е. Крылова

Компания ISCAR (входит в IMC Group) в этом году отметит 70-летие. Сегодня ее высокоточный твердосплавный металлорежущий инструмент широко используется на известных промышленных предприятиях автомобильной и аэрокосмической отраслей, в производстве штампов и пресс-форм во всем мире. На долю ISCAR приходится около 10% мирового рынка прецизионного металлорежущего инструмента, и она уверенно смотрит в будущее. В чем секрет такого долголетия и процветания?

Обратимся к истории

Когда Стеф Вертхаймер основал компанию ISCAR в гараже своего дома в израильском городе Нагария, ему было 26 лет. К тому времени он уже успел поработать в фирме по ремонту фотоаппаратов, послужить техником по обслуживанию оптического оборудования в Королевских военно-воздушных силах Великобритании, под протекторатом которой в годы Второй мировой войны находилась территория будущего государства Израиль. В годы арабо-израильской



Гараж Стефа Вертхаймера, первое производство ISCAR, 1952 год



Стеф Вертхаймер,
основатель ISCAR

войны 1948-го он был техническим офицером в бригаде «Иифтах», а сразу после ее окончания некоторое время поработал на заводе, выпускающем вооружения.

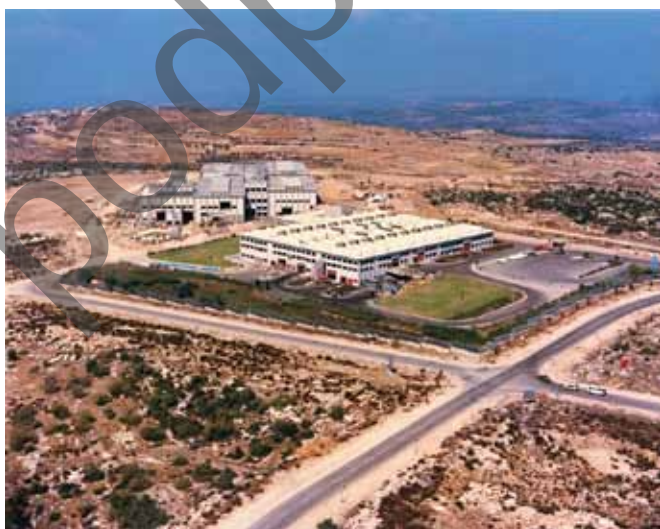
Рано приобретенный богатый жизненный опыт, бунтарский характер вкупе с пытливым умом и предпринимательской жилкой помогли Стефу Вертхаймеру в 1952 году круто изменить свою судьбу, сделав ставку на разработку и производство металлорежущего инструмента из твердых сплавов.



Стеф Вертхаймер (в центре), ISCAR, 1952 год

Основанная им компания ISCAR начала свою деятельность с поставок небольших партий инструмента для оборонной промышленности Израиля. Через пять лет, которые были для молодой организации непростыми, она начала поставлять свою продукцию на экспорт, и за десять лет в несколько раз увеличила свои производственные мощности.

Преодолеть трудности и достичь первых успехов, а впоследствии добиться, чтобы производство прецизионного металлорежущего инструмента стало специализацией металлообрабатывающей промышленности Израиля в международном разделении труда, помогла напряженная работа ее организатора, его стремление к совершенству во всем и тяга к инновациям.



Строительство индустриального парка Тефен, 1972–1982 годы



Производство ISCAR, 1970 год

Вклад в развитие инструментального производства

Постоянная разработка и внедрение инноваций позволили компании ISCAR привнести в инструментальную отрасль несколько технологических решений, опередивших свое время и впоследствии ставших стандартом для всех крупных производителей. Первой такой прорывной разработкой стал SELF-GRIP – инновационный способ крепления пластины только с помощью силы упругости державки, без дополнительных зажимных элементов. Благодаря огромной экономии времени, которую обеспечивала эта простая идея, со временем такой способ был принят на вооружение всеми производителями инструмента для токарных станков. И сегодня она продолжает пользоваться популярностью на рынке.

В начале 90-х годов компания ISCAR представила серию фрез для пластин со спиральной режущей кромкой HELIMILL. Полученная путем совмещения передней поверхности сложной формы и боковой спиральной поверхности такая форма кромки создает постоянный положительный нормальный передний угол и положительный осевой передний угол вдоль всей режущей длины. Эта особенность инструмента сразу привела к сокращению потребляемой мощности и обеспечила «мягкое» резание. Примерно тогда же, в 90-х, впервые был применен HELIMILL – новый подход



Резец SELF-GRIP

к проектированию, который рассматривается сегодня как общепризнанный формат для сменных пластин для фрез.

В конце этого десятилетия рынку была представлена система сборных сверл CHAMDRIL со сменной твердосплавной режущей головкой. А в начале 21 века ISCAR выпустила первые серийные образцы вращающегося инструмента MULTI-MASTER с резьбовым соединением, причем резьба специального профиля изготавливалась непосредственно на хвостовике режущей головки из твердого сплава.

Во всех этих инновационных продуктах и решениях производитель придерживался изначально заданного основателем вектора – они должны помочь заказчику из любой отрасли повысить производительность, рентабельность и эффективность обработки. Новые руководители компании – сначала Эйтан Вертхаймер (сын Стефа Вертхаймера), а позднее Яков Арпаз сделали все, чтобы продолжить непрерывный поиск новых конструкторских и технологических решений и направляли значительные инвестиции в НИОКР для сохранения этого курса.

Сделка нового века

Инновационность бизнеса ISCAR оценил и Уоррен Баффет, фонду которого – Berkshire Hathaway – Эйтан Вертхаймер в 2005 году сделал предложение о покупке части бизнеса компании, к тому времени крупнейшей компании в составе IMC Group (International Metalworking Companies), а она на тот момент объединяла более десятка других предприятий, специализирующихся на разработке и производстве других типов металлорежущих инструментов. К тому моменту ISCAR уже вышла на рынки Европы, Азии и других регионов: по всему промышленно развитому миру были

открыты ее заводы, распределительные центры и офисы продаж / обслуживания.

«Продукция ISCAR представляет собой небольшие расходные режущие инструменты, которые используются в сочетании с большими и дорогими станками, – писал Уоррен Баффет в ежегодном письме акционерам Berkshire за 2006 год. – Это бизнес без магии, за исключением той, которую передают люди, которые им управляют. Но Эйтан, Джейкоб и их коллеги – настоящие управленческие волшебники, которые постоянно разрабатывают инструменты, повышающие производительность станков их клиентов. Результат: ISCAR зарабатывает деньги, потому что позволяет своим клиентам зарабатывать больше денег. Нет лучшего рецепта для постоянного успеха».

Приобретение 80% акций компании ISCAR за 4 млрд долл. в 2006 году стало для Фонда Уоррена Баффета первой покупкой актива за пределами США. Новые владельцы в качестве одного из условий сделки указали сохранение действующего менеджмента компании. Двумя годами позже Уоррен Баффет назвал приобретение IMC Group «сделкой мечты», которая превзошла все его ожидания. В письме к акционерам ее менеджеры были названы «блестящими стратегами и управляющими», а рост продаж и другие показатели компании – уникальными в своей отрасли.

Семья Вертхаймер сохраняла за собой 20%-ную долю в бизнесе до 2013 года, а затем воспользовалась опционом на ее продажу компании Berkshire Hathaway за 2,05 млрд долл. Несмотря на то что семья Вертхаймеров больше не владеет долей в ISCAR, Эйтан Вертхаймер продолжает участвовать в бизнесе вместе с командой ее менеджеров, которую он собрал за последние десятилетия.

Непрерывное совершенствование

Сегодня ISCAR хранит верность курсу на инновации и продолжает совершенствовать свои продукты для того, чтобы предоставлять многочисленным заказчикам возможность продолжать наращивать производительность их станков и обрабатывающих центров, отодвигая пределы возможностей этого оборудования. Приведем несколько примеров разработанных компанией прорывных технологий.

Так, для того чтобы металлорежущий инструмент работал быстрее и дольше, без перегрева, образования сколов и наростов на режущей кромке, компания ISCAR разрабатывает и использует специальные сплавы и высокотехнологичные покрытия. Упрочняющая технология SUMO TEC, которая заключается в специальной обработке пластины после нанесения износостойкого покрытия, значительно улучшает стойкость и надежность инструмента. Благодаря этой технологии обеспечивают низкие напряжения на поверхности пластины и равномерное покрытие ее верхней поверхности, а оно, в свою очередь, способствует плавному непрерывному сходу



Индустриальный парк в наши дни

стружки, меньшему выделению тепла и меньшему трению. Обработка SUMO TEC также предотвращает образование наростов при обработке вязких металлов, таких как никелевые сплавы и нержавеющая сталь. Компания ISCAR усовершенствовала за счет внедрения технологии SUMO TEC свои наиболее популярные пластины, предназначенные для операций фрезерования, токарной обработки и сверления.

Снизить энергопотребление, улучшить контроль образования стружки, увеличить число режущих кромок на пластинах позволяет улучшенная геометрия. Компания ISCAR дополнила проверенную концепцию винтовой режущей кромки широким диапазоном типов и размеров токарных и фрезерных инструментов. Токарные пластины HELITURN с обработкой 3P SUMO TEC имеют тангенциальную ориентацию с двумя спиральными режущими кромками на пластину. В отличие от прямых режущих кромок, спиральные кромки задействуются постепенно, обеспечивая более мягкое резание типа скалывания при меньших усилиях. Большие пластины HELITURN 22 мм подходят для тяжелого чернового точения с подачей до 1 мм / об и глубиной резания от 5 до 15 мм.

Улучшенная геометрия другого типа позволяет тангенциальной фрезе устранить проблемы стружкообразования при фрезеровании тяжелых заготовок. Тангенциальная ориентация выравнивает самое прочное поперечное сечение пластины с основным вектором силы резания, а зазубренная режущая кромка измельчает стружку на более мелкие частицы для лучшего отвода стружки.

Разработчики компании ISCAR убеждены в том, что многофункциональные инструменты позволяют производителям реализовать весь потенциал обработки сложных деталей по принципу «один раз сделать все» и избежать необходимости останавливаться в середине цикла для замены инструментов из-за отсутствия слотов для инструментов.

С момента своего основания компания ISCAR известна своими инновационными зажимами. Первой прорывной разработкой в этой области стал SELF-GRIP – инструмент для отрезки с пластинами, которые можно было вставлять в лезвие, избавляя от необходимости затягивать винты, о котором мы писали выше.

В последние годы ISCAR фокусируется на том, чтобы сделать конструкции зажимов более прочными, способными выдерживать самые тяжелые режимы прерывистого резания. Бесспорное достижение на этом фронте – тангенциальные инструменты TANG-GRIP для нарезания канавок и отрезки при малых диаметрах и ширине резания до 6 мм. Они имеют наиболее стабильную конструкцию, которая позволяет отказаться от всех винтовых зажимов.

Несколько лет назад ISCAR запустил уникальную инновационную линейку LOGIQ: эта кампания вывела



Технология обработки покрытия по технологии SUMO TEC

на мировой рынок новые режущие инструменты для решения разных задач металлообрабатывающей промышленности – от повышения производительности до поиска экономичных вариантов с СМП в качестве альтернативы монолитному инструменту малого диаметра.

В 2021 году ISCAR представляет NEOLOGIQ – логическое продолжение предыдущей кампании, которое включает целый ряд новых изделий и технологических решений, являющихся прорывом в области металлорежущего инструмента.

Каковы же основные цели новой линейки NEO?

Новая линейка ISCAR NEOLOGIQ отвечает основным требованиям современной металлообработки в свете последних технологических достижений. В наши дни мы являемся свидетелями стремительного научно-технического прогресса, оказывающего колоссальное влияние на производство.

Прямой курс на электрические и гибридные автомобили ведет к постепенному отказу от традиционных

автомобилей с двигателем внутреннего сгорания и множеством деталей, требующих механической обработки.

Прогрессивные методы обработки металлов, такие как точное литье по выплавляемым моделям, прецизионнаяковка, а также применение технологий 3D-печати позволяют формировать заготовку, очень близкую к окончательному профилю выпускаемой детали, что значительно уменьшает припуск, традиционно отводимый для операций резания. Доля механической обработки в цикле производства детали заметно сокращается, и эта динамика уже влияет на современный рынок. Но это не значит, что металлообрабатывающие цеха, заводы или даже целые отрасли откажутся от механической обработки: в рамках технологических процессов изменятся только предъявляемые к ней требования. Роль производительного и точного резания с малым припуском на высоких скоростях и подачах существенно возрастет, а для металлообрабатывающей промышленности потребуется ряд инструментов с повышенной точностью и стойкостью.

Оцифровка производства, обусловленная развитием «Индустрии 4.0», имеет собственные стандарты и требует от режущего инструмента нового уровня «интеллекта» для интеграции в умное производство.

В свете будущих изменений ISCAR представляет концепцию NEOLOGIQ – еще один шаг к режущему инструменту для умного завода. «Обработка без границ» – девиз компании ISCAR NEOLOGIQ.



Новая линейка NEOLOGIQ

Требуется гибкость мышления

Ежегодно компания ISCAR выпускает как обновленные свои продукты с улучшенными характеристиками, так и совершенно новые прецизионные металлорежущие инструменты. По статистике компании, 60% всех продаж приходится на продукты, представленные в течение последних пяти лет. И, как ожидается, в ближайшей перспективе количество новинок в портфеле ISCAR будет только расти.

А это означает, что у инженеров-технологов появится более широкий выбор решений для оптимизации новой операции или устранения «узких мест» в существующей, а также для повышения производительности. Главное – найти и внедрить такой новый инструмент, который повысит производительность как минимум одной ключевой операции металлообработки в вашем цеху на 30% и более. В противном случае вы рискуете проиграть конкуренту, который это делает.

У компании ISCAR есть видение, как победить в конкурентной борьбе, которое она старается донести до своих действующих заказчиков и потенциальных клиентов. Она рекомендует интересоваться информацией о выпущенных обновлениях инструментов всякий раз, когда встает задача повторить однажды достигнутый результат. Возможно, на рынке появились более эффективные способы ее решения.

Также важно проявлять «конструктивную нетерпимость» к «узким местам» в технологических процессах и рассматривать любые возможности для их расширения и, как следствие, повышения производительности оборудования. Таковые можно и нужно искать среди новинок продуктов и инженерных решений.

Квалифицированной помощи можно ожидать от разработчика и поставщика металлорежущего инструмента. Его инженеры помогут найти ответы на волнующие вас вопросы, сделают это быстро и бесплатно.

Компания ISCAR советует заниматься непрерывной модернизацией процессов так же, как и обновлением и расширением функционала IT-систем. Такой подход позволяет повысить прибыль и намного обогнать конкурентов.

Для того чтобы сделать правильный выбор, нужно основываться на способности нового инструмента снизить стоимость обработки и повысить производительность оборудования. Именно эта ценность в денежном выражении, а не цена инструмента, дает экономический эффект от его внедрения.

Также рекомендуется использовать любое увеличение срока службы режущей кромки, возникающее в результате модернизации инструмента, и конвертировать его в более быструю обработку. С точки зрения прибыльности, рост пропускной способности оборудования выгоднее, чем длительный срок службы.

Бренд ISCAR в России

Первые испытания прецизионного металлорежущего инструмента ISCAR состоялось еще в СССР в 1989–1990 годах на станкозаводе «Красный Пролетарий» и заводе «ЗИЛ». Тогда Яков Абрамович Музыкант, д. т. н., акад. Академии технических наук РФ, профессор МГТУ «СТАНКИН», советник ОАО «ВНИИИНСТРУМЕНТ», впервые испытал отрезные резцы известной серии CUT-GRIP, когда-то прославившей бренд ISCAR. Несмотря на то что в те годы сборные конструкции инструмента со сменными пластинами вызывали много вопросов и недоверия, результаты испытаний превзошли все ожидания. В 1991 году Я. А. Музыкант организовал научно-техническую фирму «ИНАТЕК», которая до 1997 года была единственной, кто поставлял инструмент ISCAR в Россию.

В 1994 году ISCAR LTD принимает решение об открытии официального представительства в России.

27 января 1997 года Яков Музыкант вступает в должность директора компании ISCAR LLC Russia. Эту дату можно считать официальным началом истории компании в нашей стране. К этому времени инструмент ISCAR уже был внедрен и поставлялся на более десятка крупнейших предприятий России. Следующим шагом бренда в нашей стране стало открытие небольшого офиса ООО «Искар-СНГ», в будущем – ООО «Искар», в 2002 году. На первых порах в штате компании было всего семь человек, а объем поставки металлорежущего инструмента, который они обеспечивали, укладывался в одну небольшую коробку. Каталог продукции занимал один карманный блокнот. Тем не менее, с момента своего основания компания становится постоянным участником промышленных выставок. В 2004 году проходит первый международный выездной технический семинар для российских клиентов в промышленной зоне Тейфен (Израиль).

22 июля 2005 года в Челябинске основана компания «Искар РФ Восток» – второе официальное представительство ISCAR в восточной части России. Впоследствии, в 2018 году, обе компании объединились.

Тогда же в портфель обновленной компании добавился известный бренд INGERSOLL.

В июне 2019 года в БЦ «Бовид», втором по высоте здании Челябинска, открылся новый офис компании «Искар». В 2020 году к нему добавился офис в Екатеринбурге. В 2021 году компания продолжила рост и открыла офис в Санкт-Петербурге.

На сегодняшний день представительства компании «Искар» расположены по всей России. Ее офисы действуют в Челябинске, Санкт-Петербурге, Рыбинске, Ростове-на-Дону, Екатеринбурге, Нижнем Тагиле, Омске, Нижнем Новгороде, Тюмени, Красноярске и Набережных Челнах. В общей сложности в компании работает уже более 100 человек.

Новый офис ООО «Искар»

К юбилею компании открылся новый современный и удобный центральный офис общей площадью 1200 кв. м в бизнес-центре «Квадрум» (г. Мытищи, Московская область). Сегодня здесь располагаются коммерческие и технические службы, логистическое и маркетинговое ядро компании. Стоит отметить создание большого автоматизированного склада с постоянным запасом инструмента. В ближайшей перспективе здесь планируется открыть технический центр.

70 лет кропотливой работы, поисков и инициативы вывели ISCAR в число мировых лидеров в производстве режущего инструмента. 70 лет каждодневных, подчас невидимых глазу, усилий сотрудников, верных своей компании, которые определили этот удивительный взлет.

Что ждать от компании в будущем? Еще больше новых и обновленных высокоточных металлорежущих инструментов, позволяющих промышленным предприятиям стать прибыльными, избавиться от «узких мест» в процессах металлообработки и повысить окупаемость капиталовложений.



БЦ «Квадрум»

Перспективы компании ESAB на среднеазиатском рынке

После распада СССР бывшие республики заключили добровольный договор о Содружестве Независимых Государств, сокращенно СНГ, который регулировал и упрощал некоторые взаимоотношения между вновь образовавшимися независимыми странами. Средней Азией принято называть ряд стран на юге СНГ, к которым относятся Казахстан, Узбекистан, Таджикистан, Киргизия, Туркменистан.

После получения независимости в структуре экономик стран Средней Азии произошли существенные изменения.



Алексей Нужный
генеральный и финансовый директор в России и СНГ

История присутствия ESAB в Средней Азии, которая берет свое начало в 2007 году в Казахстане, развивалась достаточно быстро. На тот момент нефтегазовая отрасль являлась ведущей в регионе во многом за счет строительства Казахстано-китайского трубопровода и освоения месторождений в Каспийском регионе. Кроме этого, много крупных проектов приходилось на горнодобывающую отрасль.

Наиболее промышленно развитыми в регионе считаются Казахстан, Узбекистан и Туркменистан, где основной промышленный фокус сконцентрирован на нефтегазовой, горнодобывающей и легкой промышленности.

О перспективах региона и основных направлениях работы рассказывает финансовый и генеральный директор ESAB, Россия и СНГ, Алексей Нужный и директор по продажам ESAB, регион Центральная Азия, Екатерина Татаринова.

Сегодня Казахстан является второй крупнейшей экономикой в регионе и второй по объему бизнеса страной для ESAB в регионе России и СНГ. Наши позиции весьма сильны на этом рынке, среди поставщиков сварочных решений мы, безусловно, являемся лидерами.

Что касается других стран Средней Азии, то это действительно новое направление, которое сулит серьезные возможности. Наша активная «экспансия» в регион началась в 2018 году. Прежде мы ограничивались точечными поставками некоторым прямым клиентам.

Стабилизация политических и экономических процессов, установление гибких правил для международных компаний, прозрачная финансовая и налоговая политики – всё это делает регион привлекательным для ведения бизнеса.

Уровень технической оснащенности предприятий Узбекистана как в Ташкенте, так и в Самарканде и Бухаре очень высок. Это дает нам возможность сразу включиться в процесс, причем предлагать самые передовые технологические решения. Большинство управленцев и менеджмента тесно связаны с российским бизнесом, получали образование в советских, а потом уже российских вузах. Эта особенность только способствует быстрому налаживанию деловых связей.

Наша ключевая задача сегодня – постараться быть ближе к конечному потребителю в регионе. Для этого мы расширяем локальную команду, наращиваем складские запасы в Алматы и выстраиваем оптимальную логистику с производством в Тюмени, расположение которого позволяет закрывать потребности клиентов стран Средней Азии.

Начиная с прошлого года наша московская команда также ведет активную работу в регионе. Как производитель с мировым опытом, мы хотим передать свою экспертизу, культуру производственных процессов и качества, помочь вырастить поколение специалистов высокого уровня. Можно сказать, что мы выступаем стратегическим учителем. Мы поддерживаем образовательные проекты в Казахстане, а в этом году планируем развивать это направление и в Узбекистане.

Екатерина Татарина
директор по продажам ESAB, регион Центральная Азия

В отличие от стран-соседей, Узбекистан в своей экономической стратегии большое внимание уделяет инновационным технологиям. Каждый новый завод строится с учетом внедрения в производство процессов цифровизации, роботизации. Именно Узбекистан стал первым заказчиком облачного решения от ESAB.

Изначально компания ESAB развивала в Узбекистане сотрудничество с компаниями в газовом сегменте. Один из примеров – участие и поставка продукции, необходимой при строительстве крупнейших заводов по переработке природного газа и производству синтетического жидкого топлива (проекты GTL и GTL-2).

Среди предприятий горнодобывающей промышленности нас хорошо знают на Навоийнском ГМК (один из лидеров мировой добычи золота) и Алмалыкском ГМК.

В прошлом году состоялась первая поставка флюса на Ташкентский трубный завод. В планах и инженеринговые проекты, в том числе по модернизации сварочного производства.

Ключевая особенность промышленных предприятий Узбекистана – активное использование инноваций и современного



оборудования, внедрение роботизированных и автоматизированных решений. Это влечет за собой и потребность в высококвалифицированных специалистах. Для того чтобы решить эту задачу, мы выступаем инициатором и организатором различных образовательных мероприятий.

Ведется серьезная работа и с местными Моноцентрами, которые занимаются подготовкой, переподготовкой и трудоустройством специалистов, в том числе сварщиков, так как эта профессия является одной из самых востребованных в регионе. Именно поэтому наша экспертиза и технологические возможности дают возможность занять сильную позицию в регионе, в том числе и на долгосрочную перспективу. Мы сотрудничаем с Моноцентрами как в рамках движения WorldSkills, так и в рамках других образовательных проектов. Например, в марте этого года на базе одного из Моноцентров запланировано проведение конкурса WorldSkills.

В текущем году на базе одной из крупных корпораций Казахстана запланирован ряд альтернативных WorldSkills конкурсов сварщиков. Он будет проводиться в два этапа совместно с колледжем, который готовит специалистов в области сварки.

Перспективы развития мы видим и в Туркменистане, несмотря на то, что это достаточно закрытая страна, но сейчас у нее существует много совместных проектов с Узбекистаном, и это есть та самая возможность.

С А. Нужным и Е. Татариновой беседовала
О. Лаврентьева

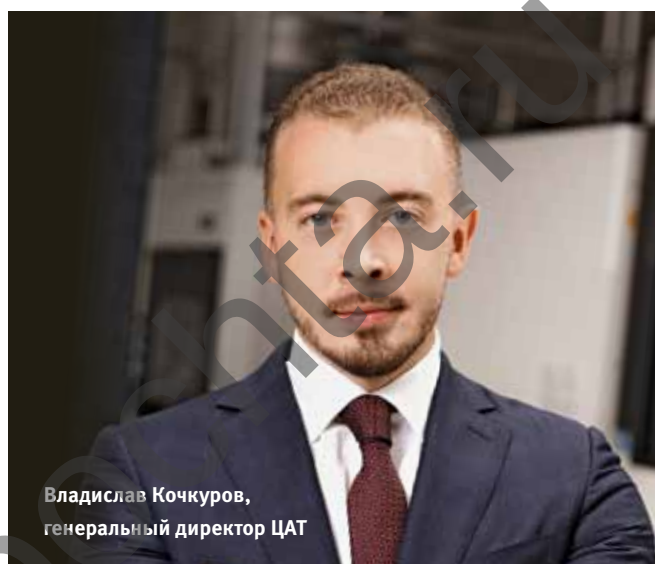
Серийная 3D-печать – уже реальность

В начале ноября прошлого года на российском рынке аддитивных технологий произошло знаковое событие. Госкорпорация Ростех объявила о запуске серийной 3D-печати деталей для одного из ключевых проектов российского авиастроения – авиационного двигателя ПД-14, разработанного Объединенной двигателестроительной корпорацией (АО «ОДК»).

Детали изготавливает первая российская промышленная инжиниринговая компания полного цикла, единый интегратор в области аддитивного производства – Центр аддитивных технологий (АО «ЦАТ»). Предприятие создано в 2018 году на базе предприятий авиационного комплекса Ростеха.

«Сегодня центр аддитивных технологий уже серийно производит элементы камеры сгорания авиационного двигателя ПД-14. Благодаря слаженной работе с разработчиками двигателя АО „ОДК-Авиадвигатель“ и разработчиками материала и технологии изготовления НИЦ „Курчатовский институт“, ВИАМ удалось реализовать проект в сжатые сроки. К 2024 году мы планируем выпустить около 2 тыс. единиц такой продукции», – рассказал генеральный директор ЦАТ **Владислав Кочкуров**.

Потенциал аддитивных технологий в авиационной промышленности очень высок. За счет послойного добавления материала, 3D-печать обеспечивает многократное сокращение сроков изготовления деталей. Опыт ЦАТ, освоившего производство 450 видов деталей для авиа- и двигателестроения, показывает, что, к примеру, сопловая лопатка двигателя изготавливается методом аддитивных технологий в три



Владислав Кочкуров,
генеральный директор ЦАТ

раза быстрее, чем традиционным способом. Такой же выигрыш во времени по сравнению с методом литья обеспечивает 3D-печать корпуса подшипника, предназначенного для авиационной промышленности и двигателестроения.

Более короткие сроки изготовления – важное, но не единственное преимущество аддитивных технологий. Метод 3D-печати, предполагающий послойное наращивание в камере принтера, позволяет изготавливать детали с геометрией, недоступной для других производственных технологий и обеспечивает максимально высокий коэффициент использования материала.

На сегодняшний день ЦАТ включает девять распределенных по всей территории нашей страны центров исследований и разработки. Предприятие владеет крупнейшим в России парком промышленного оборудования для аддитивного производства. В прошлом году парк оборудования ЦАТ дополнили две серийные автоматизированные лазерные установки с самой большой зоной построения в России для «выращивания» аддитивным методом крупногабаритных деталей.

ЦАТ оборудован 43 установками, в числе которых 3D-принтеры, 3D-сканнер, а также механообрабатывающее, измерительное и лабораторное оборудование, в том числе для выполнения входного контроля порошковых материалов, разрушающего и неразрушающего контроля образцов синтезированных изделий, металлографических исследований. Благодаря такой оснащенности ЦАТ входит в топ-20 крупнейших аддитивных центров в мире.



Процесс
3D-печати



Корпус центробежного насоса



Сопловая лопатка двигателя

На высокотехнологичном оборудовании работают 180 квалифицированных специалистов. Гарантию качества изделий, произведенных методом 3D-печати, как и высокую квалификацию персонала подтверждает наличие у ЦАТ Сертификата ISO 9001:2015. Оно говорит о том, что система менеджмента качества, созданная в Центре аддитивных технологий, соответствует требованиям этого международного стандарта к распределению обязанностей между работниками, к организации взаимодействия между подразделениями, к качеству продукции и производственной дисциплине, к коммуникациям с потребителями.

Также Центр аддитивных технологий имеет Сертификат ГОСТ РВ 0015-002-2012. Этот нормативный документ

определяет порядок функционирования предприятий, планирующих участвовать в проектах в военной и оборонной областях. Без Сертификата ГОСТ РВ 0015-002-2012 получить заказы от государства в этой сфере невозможно.

Долгое время большая часть работ, выполняемая предприятием, приходилась на НИР и ОКР в рамках подготовки к серийному производству. ЦАТ участвовал в изготовлении деталей для таких крупных проектов, как:

- опытный авиационный двигатель-демонстратор ПД-35 разработки АО «ОДК-Авиадвигатель»;
- опытный двигатель ПД-14 разработки АО «ОДК-Авиадвигатель»;
- новые вертолетные двигатели-демонстраторы ВК-650В и ВК-1600В;
- корпусные изделия для вертолета АНСАТ-М и др.

Кроме того, ЦАТ выполняет работы для компаний из различных отраслей промышленности, в частности энергетики, космоса, общего машиностроения. Среди его клиентов – «Росатом», «Газпром», «Северсталь», «Русал», «Роскосмос».

В октябре 2021 года ЦАТ получил Лицензию Минпромторга России, позволяющую серийно изготавливать и испытывать комплектующие для гражданских авиалайнеров, вертолетов и двигателей. А месяцем позже было запущено в серию производство деталей для камеры сгорания авиационного двигателя ПД-14.

Технологии 3D-печати используются ведущими международными авиационными производителями. К примеру, Boeing и Airbus располагают крупными аддитивными производствами.



Лаборатория
контроля качества

«Центр Аддитивных Технологий»
 125362, Москва, Вишневая ул., д. 7, с. 18
 +7 495 197-76-50
 info@rt-3d.ru rt-3d.ru



Объем российской продукции в рамках госзакупок составил 5,5 трлн рублей в 2021 году

В рамках Гайдаровского форума прошла сессия «Россия и мир», в рамках которой министр промышленности и торговли Российской Федерации Денис Мантуров, председатель комитета Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации по промышленности и торговле Владимир Гутенев, а также генеральный директор «Трансмашхолдинга» Кирилл Липа обсудили вопросы международной кооперации и развития реального сектора отечественной промышленности.

Дискуссия о «своем» пути российской промышленности на внутреннем и внешних рынках стала ядром состоявшейся сессии. В этом контексте национальный проект «Международная кооперация и экспорт», курируемый Минпромторгом России, становится системой координат, а его реализация предполагает разработку, внедрение и совершенствование необходимых для этого инструментов – мер финансовой и нефинансовой поддержки. Денис Мантуров отметил, что по итогам 2021 года показатель несырьевого неэнергетического экспорта по сельскому хозяйству вырос на 15%, а по промышленности – на 30%. Это стало возможным благодаря проводимой промышленной политике.

Модератор сессии Владимир Гутенев поднял вопрос о заявлении ЕС в ВТО в от-

ношении организации государственных закупок на территории России и недопущению к ним иностранных компаний. Министр ответил, что одной из основных задач Минпромторга России является защита нашего технологического и продуктового суверенитета, в том числе в условиях введенных санкций. Это возможно, например, благодаря правилам «третий» и «второй лишней» в отношении поставщиков, принимающих участие в государственных закупках. При этом важно учитывать, что никаких иных ограничений по отношению к зарубежным партнерам и поставщикам на территории России не вводится.

«Мы реализуем программы импортозамещения именно для того, чтобы, во-первых, обеспечить преференции на внутреннем рынке, а во-вторых, дать возможность воспользоваться госзакупками как гарантированным инструментом для сбыта разрабатываемой продукции. Так, за прошлый год объем поставленной продукции составил 5,5 трлн руб., и каждый год эта сумма только увеличивается», – отметил Денис Мантуров.

Также на сессии обсудили механизм СПИК 2.0. «Основной посыл обновленной версии инвестиционных контрактов заключается в повышении уровня технологической компетенции. Нам удалось с этим справиться. В рамках 45 спец-

инвестконтрактов мы привлекли более 1 трлн руб. как уже исполненных инвестиций, так и тех, которые еще находятся на этапе реализации», – рассказал министр. (Примечание: также заключено еще 11 СПИК 2.0 и дополнительно привлечено еще 300 млрд руб.).

Кирилл Липа в рамках темы ЕРС-контрактов (контракты на полный цикл реализации проекта) рассказал о совместной работе Минпромторга России с «Трансмашхолдингом» по проекту в Египте. Компанией «Тверской вагоностроительный завод» (входит в «Трансмашхолдинг») подписан 7-летний контракт на поставку более 1,3 тыс. вагонов на сумму более 1 млрд евро в Египет. Сегодня доля российской продукции в области железнодорожной техники на рынке этой страны превышает 30%.

Министр отметил, что реализация таких ЕРС-контрактов будет способствовать расширению международного присутствия российских компаний на зарубежных рынках и в целом повлияет на развитие отечественной промышленности.

В продолжение сессии участники обсудили концепцию нового плана импортозамещения 2.0, предполагающую использование собственного сырья, материалов и комплектующих и обеспечивающую стабильность их поставок на внутреннем рынке.

Срок действия заключения о российском происхождении может быть увеличен до трех лет по всем видам товаров

Минпромторгом России разработан проект Постановления Правительства Российской Федерации «О внесении изменений в Постановление Правительства Российской Федерации № 719». Документ предполагает, что теперь заключение о российском происхождении продукции будет действовать три года, вместо одного, как это было по большинству отраслей. С текстом документа можно ознакомиться по ссылке: <http://regulation.gov.ru/p/123051>.

Также предусмотрена разработка и утверждение Торгово-промышленной палатой России методических рекомендаций о подтверждении производства промышленной продукции на территории Российской Федерации с учетом отраслевой специфики. Эти рекомендации помогут оптимизировать и упростить по-

дачу документов, необходимых для получения актов экспертизы и сертификатов происхождения СТ-1.

«Изменения нацелены на снижение административных барьеров для бизнеса. Нашей задачей было упростить механизм и повысить его удобство. Мы увеличиваем срок действия заключения о российском происхождении по всем товарам до трех лет, предусматриваем полный переход на онлайн-формат взаимодействия на базе государственной информационной системы промышленности (ГИСП), а также внедряем возможность доработки заявления и документов в случае замечаний без отказа в выдаче заключения», – отметил министр промышленности и торговли Денис Мантуров.

ФРП в 2021 году выдал 229 займов на сумму 51,8 млрд рублей

Наблюдательный совет Фонда развития промышленности (ФРП) подвел итоги работы института развития в 2021 году. За отчетный период Фонд предоставил предприятиям 229 льготных займов на общую сумму 51,8 млрд руб.

«Всего за несколько лет работы ФРП выдал российским промышленникам более 1000 льготных займов на общую сумму свыше 235 млрд руб., при этом уже запущено 445 производств, профинансированных Фондом. Абсолютный рекорд пришелся на 2021 год – открыто более 180 новых производств, что наглядно демонстрирует результаты работы ФРП как одного из ведущих институтов развития промышленности», – отметил министр промышленности и торговли Российской Федерации, председатель Наблюдательного совета ФРП Денис Мантуров.

ФРП выступает одним из драйверов развития российской экономики. Благодаря проектам, профинансированным ФРП, уже создано свыше 16,7 тыс. высокопроизводительных рабочих мест. А после реализации всех профинансированных на сегодняшний день проектов их количество превысит 30 тыс. Кроме того, новые производства пополняют бюджеты разных уровней на 300 млрд руб. за счет налогов.

Займы Фонда пользуются устойчивым спросом со стороны предприятий МСП и крупных производственных холдингов. На сегодняшний день льготной поддержкой ФРП воспользовались 767 компаний в 74 регионах страны. Многие предприятия приходят за финансированием второго, третьего проектов.

Максимальное число выданных займов в 2021 году пришлось на флагманскую программу «Проекты развития» – ФРП предоставил 70 займов на общую сумму 11,5 млрд руб. Второй по популярности стала программа «Производительность труда» – 44 займа на общую сумму 6,3 млрд руб., а третье место заняла программа «Комплекующие изделия» – 29 займов на общую сумму 4,9 млрд руб.

Рекордное число заявок по объему финансирования поступило в ФРП по программе «Приоритетные проекты». В 2021 году Фонд предоставил в рамках этой программы 14 займов на общую сумму 17,9 млрд руб. В частности, ФРП профинансировал строительство уникального для страны завода по импортозамещающему производству перекиси водорода экологически чистым методом, возведение крупной ткацкой фабрики по выпуску тканей для мебели, матрасов, штор, спецодежды и трикотажного полотна, создание производства современных автокомпонентов для автомобилей АвтоВАЗ и Hyundai, а также ряд других важных для развития нашей промышленности проектов.

Максимальное число выданных займов ФРП приходится на промышленные предприятия Московской области, которые получили финансирование по 97 заявкам. Активно пользуются возможностями Фонда и промышленники из Свердловской области, Пермского края, Москвы, Республики Татарстан, Санкт-Петербурга, Нижегородской области, Иркутской области, Республики Башкортостан и Ярославской области.

Подготовлено по материалам www.minpromtorg.gov.ru



СВАРКА и РЕЗКА

23-я международная специализированная
выставка оборудования, приборов
и инструментов для сварки и резки

5-8 апреля 2022







minskexpo.com



МАШИНОСТРОЕНИЕ

Международная специализированная выставка



ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ, ПОКРЫТИЯ



ЛИТМЕТЭКСПО

Организатор:



МИНСКЭКСПО

Тел.: +375 17 396 98 58
Факс: +375 17 396 98 58
+375 17 374 99 36
E-mail: e_fedorova@minskexpo.com

**Беларусь, г. Минск,
проспект Победителей, 20/2**

2 декабря 2021 года на 70-м году ушел из жизни Ивахов Виктор Моисеевич – один из ветеранов станкоинструментальной отрасли

Всю свою жизнь Виктор Моисеевич посвятил развитию станкоинструментальной отрасли.

После окончания в 1975 году Московского станкоинструментального института «СТАНКИН» он начал свою трудовую деятельность в Московском СКБ АЛ и АС в должности инженера-конструктора, прошел интересный творческий путь до заведующего сектором этого СКБ. Участвовал в проектировании автоматических линий для автомобильной промышленности и серии специальных станков для обработки тьюбингов. Имеет пять авторских свидетельств.

В 1995 году перешел в компанию «Росстанкоинструмент» на должность заместителя начальника отдела маркетинга.

С 2003 года работал в Ассоциации «Станкоинструмент», где работал в раз-

ных должностях: от главного специалиста отдела маркетинга и внешних связей до вице-президента Ассоциации. Поддерживал деловые и дружеские отношения с представителями станкостроительных предприятий членов Ассоциации. Принимал активное участие в организации и проведении отраслевых конференций и выставок.

С 2020 года был техническим директором в ООО «Станки-Экспо». В условиях пандемии провел целый ряд онлайн-мероприятий для специалистов станкоинструментальной отрасли.

Виктор Моисеевич Ивахов останется в нашей памяти как прекрасный семьянин: муж, отец, дедушка – отдававший все свободное время родным. Он был прекрасным товарищем по работе, с уникальным чувством юмора, уме-



нием помочь ценным советом, поделиться своими обширными знаниями.

Мы глубоко соболезнуем родным и близким Виктора Моисеевича, память о нем будет жить в наших сердцах вечно.

*Коллектив Ассоциации
«Станкоинструмент»*

Станок-гигант запущен на одном из старейших заводов Урала

В Свердловской области на Кушвинском заводе прокатных валков 28 января запущен в работу токарный станок-гигант грузоподъемностью 300 тонн. Здесь будут обрабатываться крупнейшие российские валки, в том числе для станков 5 000.

Напомним, на основанном в 1735 году предприятии, при федеральной и региональной финансовой поддержке с 2012 года проводится поэтапное техперевооружение. В 2018 году



был дан старт работе нового плавильного комплекса КЗПВ, в 2019-м – состоялся пуск в эксплуатацию источника внутренней генерации. К настоящему времени в модернизацию предприятия вложено более 2 млрд руб.

На станке будут обрабатываться валки, которые в диаметре могут достигать 3,5 м и до 15 м в длину. Время одного чернового прогона на этом станке будет занимать более 300 ч.

Валки массой более 60 тонн используются для проката толстого листа – до 24 м в длину и до 5 м в ширину на стане 5 000. Эти листы применяются при производстве труб для нефтегазопроводов, строительстве мостов и в судостроении.

В настоящее время в мире существует 30 станков 5 000, из которых три работают на российских предприятиях. Первый обработанный валок пойдет на Выксунский металлургический завод (Нижегородская область).

Инвестиции в создание комплекса по производству особо крупных чугунных валков превысили 458 млн руб., в том числе льготный заем предоставил Фонд развития промышленности (Группа ВЭБ.РФ).

www.midural.ru

Ростех внедряет промышленный Интернет вещей в производство авиакомпонентов

Холдинг «Росэлектроника» Госкорпорации Ростех внедряет платформу промышленного Интернета вещей IIoT.ISTOK на производственном комплексе Объединенной авиастроительной корпорации в Новосибирской области. Это позволит снизить стоимость обслуживания оборудования на 10%.

Система мониторинга на базе промышленного Интернета вещей IIoT.ISTOK разработана специалистами НПП «Исток» им. Шокина холдинга «Росэлектроника». Она собирает информацию со встроенных в оборудование датчиков, что позволяет контролировать работу и загрузку производственных линий в режиме реального времени – от конкретного рабочего места до всего предприятия.

Датчики, установленные на оборудовании, объединены единой виртуальной сетью для построения централизованной системы мониторинга и управления технологическими процессами. Информация с них выводится в центр управления производством. Оборудование самостоятельно может обмениваться информацией для оптимизации работы системы и обеспечения автономности, включая самодиагностику и самообслуживание. Кроме того, система выявляет отклонения от исполнения управляющей программы в случае ручного воздействия на оборудование.



Неотъемлемая часть платформы – хранилище Data lake. Сбор больших данных и их анализ позволяют выявлять тренды в загрузке оборудования, определять влияние косвенных и долгосрочных факторов и корректировать производственный процесс.

www.rostec.ru

Металлообработка. Сварка – Урал

международная выставка технологий,
оборудования, материалов для машиностроения,
металлообрабатывающей промышленности
и сварочного производства

15–18 марта 2022

Екатеринбург

крупнейший
специализированный
региональный проект в России

(342) 264-64-27

egorova@expoperm.ru

www.metal-ekb.expoperm.ru



Как поддержать курс на импортозамещение и остаться в плюсе?

В конце ноября прошлого года в Центре технологий и решений DMG Mori в Москве профессионалы и эксперты станкоинструментальной отрасли встретились на ежегодной промышленной конференции для неофициального подведения итогов года, а также обсуждения актуальных вопросов и перспектив развития. Организаторами мероприятия выступили Национальный Союз поставщиков оборудования и инструмента для металлообработки при поддержке DMG Mori. Генеральным партнером конференции стал мировой лидер по производству металлорежущего инструмента – YG-1.

Всех участников и гостей «Дня технологий – 2021» – топ-менеджеров и собственников предприятий по производству станков и металлорежущего инструмента, представителей потенциальных потребителей их продукции, а также аналитиков и журналистов – объединял интерес к вопросам о повышении эффективности производства и о методах и различных подходах, позволяющих его добиться. Применению для этой цели металлорежущего инструмента, средств автоматизации и систем управления производством были посвящены отдельные доклады, а обзор решений для цифровизации производства стал темой специального практикума.

Конечно же, гвоздем программы стал доклад о современных станках и технологиях металлообработки и демонстрации новейшего оборудования DMG Mori в России.

К своей последней в 2021 году промышленной конференции производитель приурочил российскую премьеру уникального многофункционального токарного центра CLX 450 TC для 6-сторонней комплексной обработки.

Обменяться мнениями участники конференции могли не только в кулуарах, но и на круглом столе «Как они это делают. Лопатки ГТД». Кроме того, НСПОИМ выбрал предзимний «День технологий – 2021» площадкой для своей заключительной Стратегической сессии по вопросам импортозамещения. О дискуссии, состоявшейся в ее рамках, нам и хотелось бы поговорить подробнее.

Нормативная база для импортозамещения

Важные нормативные документы, определяющие развитие станкоинструментальной отрасли на годы вперед, были приняты в конце 2020 года, так что 2021-й год производители станков для предприятий ОПК провели в новых правовых реалиях. Об этом участникам сессии напомнил Павел Беликов, председатель НСПОИМ.

Один из таких документов – Постановление Правительства РФ «О минимальной доле закупок товаров российского происхождения» (от 3 декабря 2020 года № 1013) – нацеливает предприятия с госучастием на выбор станков отечественного производства. Как указано в приложении к постановлению, в 2021 году минимальная доля российского сменного рабочего инструмента для станков в общем

объеме закупок таких товаров должна была составлять 50%, в 2022-м будет – 60%, а в 2023-м уже 70%. Что касается самих станков и обрабатывающих центров, то доля оборудования российского производства в общем объеме их закупок уже в 2021 году должна была достичь 70%, а к 2023-му году планируется ее рост еще на 10%.

Второй документ, который прокомментировал П. Беликов на круглом столе, – Распоряжение Правительства РФ от 5 ноября 2020 года № 2869-р, которым была утверждена Стратегия развития станкоинструментальной промышленности на период до 2035 года. В нем отмечается, что станкостроение – базовая фондообразующая отрасль промышленности, которая обеспечивает оснащение средствами производства предприятия, выпускающие машиностроительную продукцию как гражданского, так и специального назначения. Также в документе приводятся три вида деятельности, которые регулятор отнес к станкоинструментальной промышленности: производство конечной продукции станкостроения (металлорежущих станков и кузнечно-прессового оборудования); производство основных комплектующих; производство инструментальной продукции.

При этом в объеме спроса на продукцию станкоинструментальной промышленности в России около 60% приходится именно на станкостроение. «Станкостроение – это стратегическая отрасль: она снижает риск угроз безопасности, наступающий при использовании импортных средств производства и компонентной базы», – констатировал П. Беликов.

Одним из серьезных факторов, сдерживающих рост производства станков в России, является ограниченная инвестиционная активность производителей гражданской продукции, вынужденных откладывать замену парка станочного оборудования из-за недостатка оборотных средств. Текущий объем производства станков без учета инструментальной отрасли оценивается в 16,7 млрд руб., это 17% внутреннего спроса. С 2014 по 2019 годы объемы потребления оборудования держались на уровне 70 млрд руб. в год, то есть 1–2 млрд долл.

Стагнация станкоинструментальной отрасли объясняется в Стратегии комплексными проблемами. Прежде всего, это технологическая зависимость от производителей импортных решений отдельных элементов компонентной базы станков из-за отсутствия их внутреннего производства или (в случае его наличия) низкой конкурентоспособности его продукции. Еще одна серьезная проблема – высокий уровень физического и морального

износа оборудования, и третья, о которой мы уже упоминали, – неустойчивое финансовое положение предприятий и низкая обеспеченность их оборотными средствами. По этим причинам отечественные станкостроители не смогли воспользоваться таким преимуществом, как низкая стоимость их продукции вследствие девальвации рубля, пояснил П. Беликов.

Отдельно спикер заметил, что основными причинами недостаточного использования станкостроителями российской системы ЧПУ является историческая приверженность предприятий-заказчиков ее иностранным аналогам, а также использование ими автоматизированных систем проектирования и технологической подготовки производства, совместимых с иностранными системами числового программного управления.

П. Беликов привел и цифры, характеризующие состояние подотрасли производства инструментов. Так, с 2014 года по 2019-й потребление инструмента росло со среднегодовым темпом 11,6%, достигнув к концу этого периода 44,5 млрд руб., 80% из них приходилось на металлорежущий инструмент. Одновременно с ростом потребления снижалась доля импорта. Спикер отметил, что, поскольку режущий инструмент – это расходный материал, запасы которого часто пополняются, по своему объему этот рынок сопоставим с рынком станков.

Основных задач для производителей инструмента в Стратегии выделено четыре:

- выполнение основных сквозных комплексных ОКР по созданию и освоению производства инструмента мирового уровня;
- устранение технологического отставания путем разработки инновационных технологий и специального





оборудования и привлечения иностранных технологий и оборудования;

- создание новых инструментальных предприятий, в том числе совместных с мировыми лидерами;
- развитие поставок российской инструментальной продукции на внешние рынки.

В качестве третьего важного для станкоинструментальной отрасли нормативного акта П. Беликов назвал Постановление Правительства РФ «О подтверждении производства промышленной продукции на территории Российской Федерации» (от 17 июля 2015 года № 719 с учетом внесенных позже изменений). Им вводится балльная система, на основании которой выдается заключение о подтверждении производства на территории России. «Шпиндель, станина, система управления оцениваются в баллах, по сумме которых и принимается решение о выдаче подтверждения или отказа в выдаче», – констатировал спикер.

Понятно, что добиваться соответствия требованиям всех трех нормативных документов должны производители, выпускающие станки для оборонно-промышленного комплекса. Но, если учесть, что ОПК потребляет 70% станков в нашей стране, их значимость для всей отрасли становится очевидной. К тому же, основная мера поддержки станкостроителей со стороны регулятора – предложение преференций для участия в госзакупках.

«Мы должны поддерживать развитие хорошего продукта, в первую очередь, тогда не надо будет никого заставлять покупать отечественное», – заявил Павел Беликов, имея в виду российских производителей станков. По его мнению, сегодня многое уже сделано, но этого недостаточно. «Что надо превнести в отрасль для ее изменения к лучшему?» – обратился он к участникам круглого стола.

Голоса участников рынка

«Станкостроение – капиталоемкая, сложная технологичная отрасль, причем достаточно консервативная, и раскатать ее за 3–5 лет очень сложно, – сказал Рустам Аляутдинов, директор по продажам оборудования DMG Mori Rus. По его словам, отечественному станкостроению для развития необходимо регулирование. «Везде государство поддерживает собственных производителей. Это правильно, потому что ведет к росту экономики, в том числе потребителей продукции станкостроения», – заметил он. В России эта работа системно ведется не так давно, поэтому регуляторам, участникам рынка, экспертам стоит иногда встречаться для обсуждения разных точек зрения.

По его словам, в 2021 году Ульяновский станкостроительный завод выпустил более 300 единиц продукции, а на 2022 год запланировали производство 450 машин. И на протяжении всей своей истории предприятие демонстрирует непрерывный рост.

«Станкостроение с собственной продукцией должно быть в России», – заключил директор по продажам оборудования DMG Mori Rus, представляющий глобальную компанию, успешно локализовавшую в нашей стране производство станков.

По пути трансферта передовых зарубежных технологий в свое время пошел КАМАЗ, который, по словам Федора Назарова, главного технолога предприятия, после развала СССР переживал очень тяжелые времена. Однако сотрудничество с мировыми лидерами, такими как BOSCH и Mercedes, помогло предприятию создать современный автомобиль. Сегодня предприятие имеет в России 30% рынка магистральных тягачей, хотя всего пять лет назад вообще не был представлен в этом сегменте. Ф. Назаров напомнил участникам круглого стола еще один способ подтвердить наличие производства на территории России – заключить СПИК (Специальный инвестиционный контракт) с государством.

Михаил Дрическул, заместитель генерального директора – управляющий директор АО «Наро-Фоминский машиностроительный завод», выразил уверенность в том, что производители оборудования, профессионалы и эксперты отрасли должны помогать регулятору. «Я считаю, что курс на импортозамещение правильный», – сказал он, добавив, что требования регулятора не такие уж и жесткие.

А требования российских заказчиков продукции станкостроительной отрасли сформулировал Дмитрий Забелян, управляющий партнер «БИТМ АВИА»: станок должен быть качественным, его цена не должна быть в два раза выше, чем у импортного аналога, и получить его потребитель должен в предусмотренные контрактом сроки, а не через три года после его окончания.

Таким образом, все участники дискуссии пришли к общему мнению, что если выпускать качественную, конкурентоспособную продукцию в срок, контролируя ее себестоимость, то спрос на нее как в России, так и за ее пределами будет гарантирован.

Крылова А. Е.

СЕРИЯ CT16K20

ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНЫЕ СТАНКИ
CT16K20 | CT16K25 | CT16K255 | CT16K25C

Станки предназначены для обработки цилиндрических и конических поверхностей как внутренних, так и наружных, а также для нарезания резьбы. Представленные станки являются универсальным оборудованием для точной обработки изделий в полном соответствии с международными стандартами качества. Конструкция литой станины и закаленные направляющие обеспечивают профессиональную обработку и надежную стабильную работу. Станки данной группы могут оснащаться дополнительными опциями, такими как: конусная линейка, устройство цифровой индикации на оптических линейках, резцедержатель-мультификс и др., что значительно упрощает достижение минимальных допусков при обработке.

СЕРИЯ CT16A25

ТОКАРНЫЕ СТАНКИ С ЧПУ
CT16A25 | CT16A25AM

Станки предназначены для токарной обработки наружных и внутренних поверхностей деталей типа тел вращения со ступенчатым и криволинейным профилем в один или несколько проходов в замкнутом полуавтоматическом цикле одновременно по двум координатным осям. Прекрасно подходят для использования в среднем и мелко-серийном производстве. На станках можно производить точение, растачивание, обработку конических и фасонных поверхностей, подрезку торцов, проточку канавок, нарезание резьбы, обработку деталей типа крышек, фланцев, втулок, валов, коротких осей, стаканов, полумуфт, обработку внутренних поверхностей осевым инструментом.

Станки обладают классом точность Н по ГОСТу и большой эффективностью, имеют программируемую инструментальную головку.

СЕРИЯ CT25

ТОКАРНЫЕ СТАНКИ С ЧПУ
CT25L | CT25LM

Станок серии CT25 с числовым программным управлением может проводить комплексную механическую обработку при помощи различных инструментов. Токарный станок с ЧПУ может быть оснащён 12-позиционной револьверной головкой, причем все 12 позиций одновременно могут использоваться для приводного инструмента, что существенно расширяет технологические возможности и повышает производительность труда.

Станина, с углом наклона направляющих 45° обеспечивает достаточную прочность и жесткость при экстремальных нагрузках, связанных с высокопроизводительной обработкой. Направляющие выдерживают высокие нагрузки. Запас прочности позволяет ШВП работать как с высокими скоростями, так и в режиме силового точения.



От моделей и прототипов – к серийному производству

Что мешает и что может помочь переходу к массовому внедрению аддитивных технологий в отраслях промышленности, относящихся к машиностроению? Эти вопросы были рассмотрены на круглом столе «АТ в машиностроении: когда мы будем печатать машины целиком», который состоялся в рамках третьего Лидер-форума «Аддитивные технологии. Расширяя горизонты», организованного Ассоциацией развития аддитивных технологий.

В обсуждении повестки, актуальной для разных отраслей машиностроительного комплекса, приняли участие представители АО «РусАТ», АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей», ПАО «КАМАЗ», ФГУП «НАМИ», ФГУП «НПО «Техномаш» и АО «ОСК». Модерировала дискуссию Ольга Оспенникова, советник президента АО «ТВЭЛ».



Ольга Оспенникова



Михаил Турундаев

Цифровизация машиностроения выводит аддитивные технологии на первые роли, а они, в свою очередь, требуют от предприятий вносить кардинальные изменения в процессы проектирования и конструирования, в технологические циклы и логистические цепочки, а также переобучать кадры или нанимать готовых специалистов в области 3D-печати.

На многих крупных предприятиях и в исследовательских институтах уже накоплен опыт использования 3D-печати, прежде всего для моделирования и прототипирования, что существенно повышает их конкурентоспособность. А вот число российских компаний и корпораций, внедривших аддитивные технологии в серийное производство пока очень мало. Для того чтобы их стало больше, отечественному машиностроению нужно преодолеть ряд препятствий и выполнить несколько условий.

Зависимость от импорта

Объем мирового рынка аддитивных технологий сегодня составляет около 12 млрд долл., и только 1% из них, то есть 4 млрд руб., приходится на Россию, такие данные на круглом столе привел **Михаил Турундаев, генеральный директор компании «Русатом – Аддитивные Технологии» (АО «РусАТ»)** и **исполнительный директор Ассоциации развития аддитивных технологий**. При этом, по его словам, 90% этих средств приходится на долю иностранных поставщиков оборудования. С одной стороны, для производителей из России это вызов, с другой – оказавшись в жестких конкурентных условиях, они изначально нацеливаются на высокое качество своих принтеров и сопутствующих им установок. Как результат, многие отечественные производители добились успехов в изготовлении принтеров для печати пластика. «Российские компании сегодня с успехом продвигают и продают их на зарубежных рынках», – констатировал Михаил Турундаев, добавив, что в России уже появилось и несколько компаний-производителей 3D-принтеров для печати металла.

Компанией «РусАТ» разработаны модели такого оборудования 3D-печати разных размеров: среднеразмерный принтер с камерой 300 мм, крупногабаритный – с камерой 600 мм, и вся необходимая техническая документация к ним. По словам Михаила Турундаева, они уже применяются на предприятиях различных отраслей для изготовления опытных

образцов изделий, для научно-исследовательских работ, для образовательных программ. Цель компании на ближайшие два года – догнать и перегнать по качеству печати лидирующих западных производителей.

Импортные промышленные 3D-принтеры использует ПАО «КАМАЗ». «Как следствие, мы „завязаны“ на оригинальные материалы для печати, отказаться от которых не можем, не потеряв гарантию», – рассказал **Антон Аношкин, специалист 1-й категории Группы экспериментальных технологий ПАО «КАМАЗ»**. По его словам опытное производство предприятия активно применяет аддитивные технологии. Благодаря тому, что макеты деталей для опытных образцов изготавливаются на 3D-принтерах, каждую такую деталь можно «примерить», посмотреть, как она будет «сидеть» в узле, и понять, подходит ли она по дизайну. Этот инновационный подход к моделированию позволяет очень быстро изменять конструкцию деталей, а при необходимости вносить коррективы за несколько итераций.

Во ФГУП «НАМИ», который является пионером в разработке перспективных изделий для российского автопрома, аддитивные технологии начали применяться еще 17 лет назад (тогда это была стереолитография). Сегодня в институте используются по большей части импортные оборудование и полимерные порошки, признал **Кирилл Казмирчук, начальник отдела перспективных технологий и развития ФГУП «НАМИ»**. По его словам, без аддитивных технологий проект «Единая модульная платформа» невозможно было бы реализовать в установленные сроки, и потому они сразу закладываются в будущие проекты.

Высокое проникновение аддитивных технологий в производственные процессы отмечается в НПО «Техномаш». В задачи этого научно-производственного объединения входит отработка внедрения технологий на всех предприятиях аэрокосмической отрасли. «Мы делаем станки и обрабатываем аддитивные технологии, – говорит **Валерий Семенов**, представлявший на круглом столе это федеральное государственное унитарное предприятие. – Сейчас приступили к отработке нового большого станка лазерного наращивания с одновременной механической обработкой. Его лазерная головка и стол позволяют выпускать детали размерами 500×400 мм и 500×800 мм». Кроме того, на этом станке сразу после лазерного наращивания можно выполнить

механическую обработку детали, а потом снова произвести лазерное наращивание.

Для отработки технологий 3D-печати, по словам В.Семенова, используется оборудование иностранного происхождения, что, впрочем, не мешает НПО «Техномаш» работать с российскими поставщиками металлических порошков, в том числе жаропрочных.

Не зависит от импортного печатного оборудования и АО «Объединенная судостроительная корпорация» (АО «ОСК»). **Александр Прохода, руководитель проекта отдела инноваций и технического развития АО «ОСК»**, объяснил это спецификой производства. По его словам, в корпорации ведется опытная эксплуатация двух 3D-принтеров для печати металлических изделий. В Москве и Северодвинске идет освоение этой техники и технологий прямой печати.

АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей», активно внедряющее аддитивные технологии, не зависит от поставок из-за рубежа. «Импортные материалы использовал металлический принтер, но мы проводим приемо-сдаточные испытания по вводу в эксплуатацию установки газавтоматизации и оптимизации, – рассказал **Сергей Павлов, заместитель директора НИИПМ АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей»**, – и в скором времени будем обеспечены металлическими порошками заданной формы и качества».

В основном, аддитивные технологии используются концерном для продукции гражданского применения. Так, с помощью SLS-принтера выпускаются детали на опытном производстве, где для литья изготавливаются полимерные формы.

Не без проблем

Технологии 3D-печати в силу своей цифровой природы принципиально меняют традиционные подходы к проектированию и конструированию изделий и потому их внедрение – это вызов для специалистов в области технического дизайна. Но, как отметили многие участники дискуссии, на практике аддитивные технологии очень нравятся конструкторам. «Стоит им один раз попробовать и увидеть, что получается, они быстро входят во вкус», – констатировал Антон Аношкин. В этом его поддерживает и коллега из НАМИ. «Когда конструкторы видят скорость изготовления деталей, которую обеспечивает 3D-печать, они очень быстро привыкают ею пользоваться», – подтвердил К.Казмирчук.

Но если для КАМАЗа единственным фактором, сдерживающим внедрение аддитивных технологий, являются длинные сроки поставки импортных материалов, то конструкторы НАМИ испытывают сложности с их применением при проектировании наукоемких деталей, при генеративном дизайне, в тепловых расчетах и т.д.

Другого порядка барьеры возникают в таких исторически консервативных отраслях, как атомная промышленность, космическая промышленность, судостроение и производство вооружений.



Александр Прохода

«Мы в компании „РусАТ“ разработали дорожную карту внедрения аддитивных технологий на разных предприятиях Росатома, постоянно ее обновляем, популяризируем – работаем с технологами, конструкторами, – рассказал Михаил Турундаев. – Как профессионалы, они видят, что эти технологии дают при проектировании совершенно другую степень свободы. Но поставить изделия, выполненные с помощью 3D-печати, на производство, а потом и в реакторы очень сложная задача, поскольку речь идет о безопасности».

По его словам, сначала произведенные с помощью аддитивных технологий и обеспеченные технической документацией изделия в течение года испытываются в исследовательском реакторе, а затем, в случае успешного результата, проходят процедуры аттестации и сертификации, которые тоже занимают немало времени.

Переход к внедрению в серийное производство аддитивных технологий в космической отрасли тоже сдерживается из-за ее консервативности. Изделиям-продуктам 3D-печати там также требуются долгие проверки и испытания, констатировал Валерий Семенов. Срок активного существования в космосе нашего аппарата – 15 лет, отметил он, а это значит, что замене утвержденной и проверенной годами конструкции должны предшествовать ресурсные испытания, в ходе которых нужно будет подтвердить множество факторов. «Довольно сложно доказать, что деталь, выполненная с помощью аддитивных технологий может заменить аналогичную деталь, полученную одним из традиционных методов», – сказал Валерий Семенов.

Выход, который нашли в НПО «Техномаш», – использовать аддитивные технологии для новых изделий – ракетоносителей, космической станции, которые разрабатываются сегодня. Этому способствует цифровизация проектно-конструкторской документации. В таком виде ее сразу можно направлять конструкторам для создания модели детали, которая будет изготавливаться с помощью 3D-печати.

Судостроителей от внедрения аддитивных технологий в серийное производство удерживает отсутствие прогнозируемых свойств материалов, которые используются для изделий. «Пока аддитивное производство не может обеспечить гарантированные свойства материалов, и в этих условиях представитель заказчика не берет на себя ответственность за возможный выход изделий из строя», – констатировал Александр

Прохода, говоря о препятствиях на пути к внедрению 3D-печати в АО «ОСК», которые еще предстоит преодолеть.

Отсутствие четкого понимания, как оценивать качество изделий, изготовленных с помощью аддитивных технологий, сдерживает внедрение аддитивных технологий в серийное производство военной продукции в АО «Концерне ВКО «Алмаз-Антей». «На сегодняшний день в России нет специализированных ГОСТов, в которых определен необходимый для оценки качества таких деталей объем испытаний», – заметил Сергей Павлов.

Для того чтобы выйти из этого положения, по его словам, на предприятии запускаются в опытное 3D-производство образцы деталей из номенклатуры военной техники, а потом делаются попытки доказать представителям заказчиков, что по своим характеристикам эти детали совпадают с теми, которые изготавливаются традиционными способами.

Стандартизация и сертификация

Поскольку аддитивные технологии довольно новые и сложные, подготовка нормативной базы для их внедрения и использования на предприятиях машиностроительного комплекса – актуальная задача сегодня во всем мире. В России разработкой стандартов в сфере аддитивного производства и аддитивных технологий занимается созданный в 2015 году при Росстандарте и на базе ВИАМ Технический комитет № 182, в который входят представители нескольких десятков организаций из различных отраслей. Несмотря на то, что с тех пор разработано немало стандартов, их по-прежнему не хватает.

Всё: новизна технологии, материалов, оборудования, а также, как отмечается в аналитическом отчете «Стандартизация и сертификация Аддитивных технологий в РФ и мире. Текущий статус, 2018 г.», подготовленном исследовательской компанией J'son&Partners, отсутствие общепризнанной научной системы измерений, контроля качества и стандартов, предъявляемых к процессам и результату 3D-печати, говорит о том, что нормативная база в этой сфере до конца не сформирована.

К началу декабря 2021 года в России уже было утверждено 33 стандарта, из них 7 было разработано и утверждено при участии компании «РусАТ». Еще 5 стандартов разработаны ею, зарегистрированы и ждут утверждения, а 10 стандартов находятся в разной степени готовности. В общей сложности предприятиями Госкорпорации «Росатом» разработано 22 стандарта. Такие данные привел на круглом столе Михаил Турундаев. По его словам, подготовка даже одного такого нормативного документа – это серьезная, объемная работа, выполнение которой занимает не меньше года.

Задачи стандартизации аддитивных производств и сертификации их изделий имеют свою специфику в каждой отрасли. Так, АО «ОСК», по словам Александра Проходы, в их решении ориентируется на законодателя мод в своей области – отраслевой институт НИЦ «Курчатовский

институт» – ЦНИИ КМ «Прометей». От него АО «ОСК» ожидает стандартов аддитивных технологий и производств, а также материалов для них.

ФГУП «НАМИ» активно участвует в работе ТК № 182. «Большая часть стандартов, вынесенных на обсуждение, была нами рассмотрена, – рассказал Кирилл Казмирчук, – и мы, в целом, ими и руководствуемся. Разрабатывать стандарты специально для автомобилестроительной отрасли мы пока не планируем».

Если же стандарты, применимые к грузовым и легковым автомобилям все-таки появятся, то КАМАЗ их поддержит. «Мы понимаем, что находимся в одной лодке и невозможно в одном государстве работать по разным стандартам, действующим на отдельных предприятиях», – подчеркнул Антон Аношкин.

Чем может помочь государство?

Инициатором вовлечения государства в развитие аддитивных технологий выступила Госкорпорация «Росатом». Летом 2019 года Правительство Российской Федерации и ГК «Росатом» подписали соглашение о развитии в нашей стране «Технологий материалов и веществ», нацеленное на выход России на позиции одного из лидеров на глобальных технологических рынках в этой области. А весной 2020 года Юрий Борисов, заместитель Председателя Правительства РФ, утвердил «дорожную карту» развития аддитивных технологий.

«Аддитивное производство наукоемкое, и устранять отставание от ведущих мировых производителей, а также вести собственные разработки можно только опираясь на фундаментальные научные исследования», – отметил Михаил Турундаев. По его словам, лидирующих позиций на мировом рынке можно достичь за счет поддержки государства – финансирования научных исследований, разработок уникальных решений в области технологий, 3D-принтеров, материалов, необходимых предприятиям различных отраслей для наверстывания отставания.

В 2021 году в дополнение к «дорожной карте» появился второй инструмент – Комплексный научно-технический план, или КНТП. Он включает в себя все научные разработки в части оборудования, материалов и прочее для создания конечного результата – внедрения в производство той или иной аддитивной технологии или российского 3D-принтера с уникальными возможностями, полученными в результате фундаментальных НИРов. Для его формирования на протяжении года компания «РусАТ» собирала проекты, научные и производственные, по всему рынку. Затем была разработана заявка, предполагающая софинансирование со стороны государства таких проектов в размере 50% от их стоимости.

По словам Михаила Турундаева, в определении размеров поддержки формирующейся инновационной отрасли ориентироваться стоит на страны – мировые лидеры в этой области. США уже многие годы инвестируют в развитие аддитивных технологий по 10 млрд долл. в год, поскольку правительство

этой страны и поняло их важность, и правильно оценило их перспективы. В Китае несколько лет назад тоже была принята национальная программа развития этих технологий, в которую государство вкладывает порядка 8–10 млрд долл. в год. «Это очень хорошие примеры государственной поддержки бизнеса, создания новой отрасли, и мы бы очень хотели, чтобы в России нас тоже поддерживали, – сказал он. – Мы ждем от государства помощи в финансовом плане, специальных мер поддержки, в том числе малого и среднего бизнеса, каких-то новых стандартов, которые позволят быстрее внедрять аддитивные технологии в серийное производство», – заявил эксперт.

У Ассоциации, исполнительным директором которой является Михаил Турундаев, уже есть поддержка со стороны Минпромторга России: ведомство участвует в работе этой организации. И это дает основания для оптимизма.

«Открытие целенаправленных опытно-конструкторских работ (ОКР), которые „привязаны“ к конкретному изделию – к проекту корабля, было бы оптимальным решением, – сказал Александр Прихода. – Для этого нужен заказ от государства, но пока от Министерства обороны РФ такого заказа в АО „ОСК“ не поступало».

По его словам, комплексные ОКР помогут создать нормативную базу для внедрения аддитивных технологий в судостроении, материалы, а также какое-то оборудование. В АО «ОСК» уже создается программа таких работ, рассчитанная на перспективу 4–5 лет. После утверждения генеральным директором будут изыскиваться источники ее финансирования.

Покупка нового 3D-принтера, констатирует Кирилл Казмирчук, или сопутствующей ему установки является самой большой статьей затрат в бюджете и первой позицией, которая из него исключается при оптимизации. «Нужно придумать какой-то новый механизм бюджетирования этого направления, чтобы не смешивать закупки классического оборудования и инновационного, требующего отдельного развития и отдельного внимания», – сказал он. В качестве такого механизма может рассматриваться дополнительное финансирование государством отдельных инвестиционных проектов, предусматривающих приобретение оборудования.

Эту позицию поддержал и Антон Аношкин. По его мнению, всем компаниям, которые хотят внедрить аддитивные технологии в процесс производства, были бы интересны субсидии на закупку оборудования или даже налоговые льготы на его использование в рамках производственного процесса.

Кроме того, нужна помощь государства в финансировании подготовки образовательных программ, ориентированных как на подготовленных специалистов, так и на тех, кто только выбирает профессию. «Если мы говорим о массовом внедрении аддитивных технологий в производство, то квалифицированных специалистов может оказаться недостаточно, – заметил он. – Нужно создавать образовательные

центры, разрабатывать программы, стараться заинтересовать студентов и школьников, давать им актуальные знания, чтобы они хотели развиваться в сфере аддитивных технологий в течение всей своей профессиональной жизни».

Кадры для новой отрасли

Технологии 3D-печати требуют принципиально нового подхода во всем, в том числе и к подготовке проектировщиков, конструкторов, технологов, разработчиков специализированного программного обеспечения. Первые представления об аддитивных технологиях и навыки их использования должны формироваться еще в школе.

По словам Михаила Турундаева, ряд российских вузов уже внедрил образовательные программы, как для бакалавров, так и для магистров, по разным специальностям, связанным с этим направлением. Сейчас разрабатывается новый Федеральный государственный образовательный стандарт (ФГОС). В него уже включены аддитивные технологии.

Но надо говорить не о вузах, убежден исполнительный директор Ассоциации. «Надо начинать со школ, создавать в них инженерные классы, есть такой проект у Минпросвещения РФ, – сказал он. – Работая на 3D-принтере, ученик узнает о новых профессиях и современном оборудовании, о том, чем занимаются конструкторы, операторы, технологи, программисты».

Понимая это, Госкорпорация «Росатом» оснастила лабораторию аддитивных технологий в сочинском образовательном центре «Сириус» FDM-принтерами, которые произвел завод «Электрохимприбор» (входит в структуру госкорпорации). «Мы не хотим на этом останавливаться, поскольку понимаем, что с маленького шага начинается очень многое», – сказал Михаил Турундаев.

Внедрение аддитивных технологий в производство неразрывно связано с его цифровизацией, с оцифровкой деталей, с построения цифровых моделей, которые впоследствии лягут в основу цифровых двойников, напомнил Валерий Семенов. Оборудование для аддитивных технологий для предприятий новое, а значит, обслуживать его должны люди новых специальностей.

При наличии системы подготовки кадров, начиная со школьной скамьи, нормативной базы в виде национальных стандартов, поддержки государства производителей оборудования и материалов для аддитивных технологий, а также их потребителей в форме финансирования ОКР или инвестиционных проектов 3D-печать может получить более широкое распространение в разных отраслях машиностроения.

Подводя итоги дискуссии, О. Оспенникова выразила надежду на то, что аддитивные технологии будут использоваться для производства деталей 3-го уровня, имеющих полный комплект технической документации и прошедших все необходимые квалификационные испытания.

А. Е. Крылова



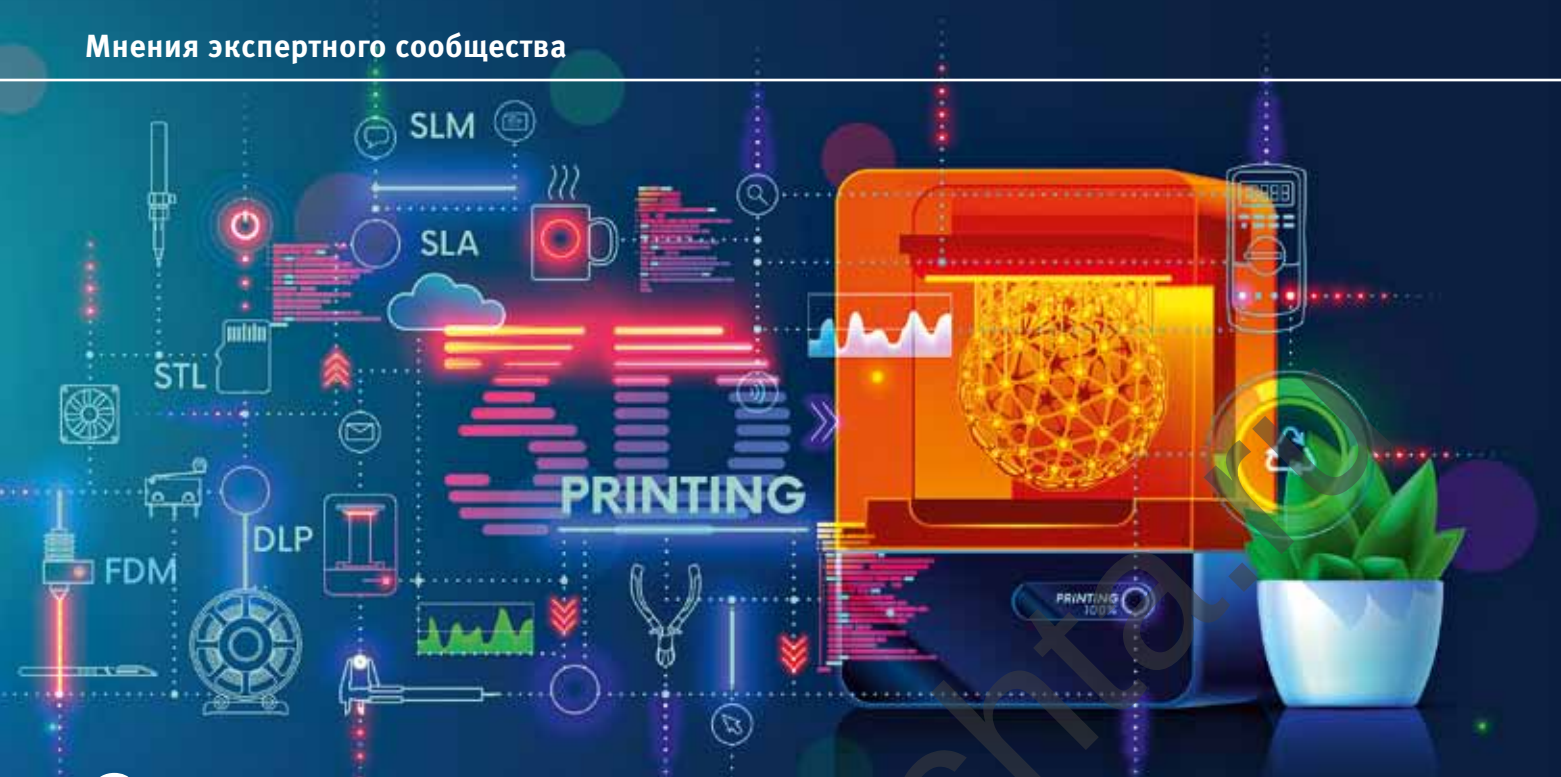
КАК ОБРЕСТИ СУПЕРСПОСОБНОСТИ

Плазменная резка — высочайшее качество
при любой квалификации

МЫ ОПРЕДЕЛЯЕМ БУДУЩЕЕ СВАРКИ И РЕЗКИ!

ООО ЭСАБ, 125009 г. Москва, ул. Воздвиженка, д. 10
Тел. +7 (495) 663 20 08. E-mail: info@esab.ru





Отраслевые перспективы внедрения аддитивных технологий

Правительством Российской Федерации в 2021 году утверждена Стратегия развития аддитивных технологий на период до 2030 года. Соответствующее распоряжение подписано Председателем Правительства Михаилом Мишустиним. Отрасль аддитивных технологий является наукоемкой и высокотехнологичной и за последние 10 лет показывает позитивную динамику. Так в 2020 году объем российского рынка аддитивных технологий составил 3560 млн руб.

Согласно Стратегии основные цели развития российской отрасли аддитивных технологий – рост объемов отечественного производства конкурентоспособного аддитивного оборудования и материалов на базе российских решений и увеличение его экспорта.

В связи с этим редакция журнала решила провести виртуальный круглый стол, на котором предстояло обсудить основные проблемы развития отрасли аддитивных технологий в России и пути их решения.

Вопросы для экспертов

- В каких отраслях экономики будут наиболее востребованы аддитивные технологии?
- Соответствуют ли отечественное оборудование и порошки современным требованиям аддитивного производства (по сферичности, распределению по размерам частиц и др.)?
- Можете ли Вы дать сравнительную оценку стоимости зарубежного и российского оборудования для аддитивных технологий?
- Когда, на Ваш взгляд, стоимость изделий, изготовленных с использованием аддитивных технологий, будет сопоставима со стоимостью изделий, изготовленных по традиционным технологиям?
- Что Вы можете сказать об экспортном потенциале российских аддитивных технологий и оборудования?

Михаил Зотов
генеральный директор
ООО «ДС-Роботикс»



«ДС-Роботикс» специализируется на разработке и внедрении «под ключ» роботизированных комплексов. Наряду с другими применениями, промышленные роботы являются очень эффективным инструментом для 3D-печати. А иногда роботизированная 3D-печать – единственно возможный способ получить изделие требуемого качества и геометрии.

В роботизированных комплексах технологии нанесения применяются те же, что и при печати на 3D-принтерах. Если говорить о печати металлами, сегодня наиболее распространено селективное (выборочное) лазерное сплавление металлических порошков (SLM – Selective Laser Melting). С помощью этой технологии можно даже в единичном исполнении быстро изготавливать металлические изделия сложной геометрии, которые по своим качествам превосходят продукцию литейного и прокатного производства. Еще одна перспективная технология – прямое или непосредственное осаждение материала (DMD – Direct Metal Deposition). Она позволяет создавать габаритные изделия сложной формы из нескольких видов сплавов, может применяться для ремонта и восстановления поврежденных металлических деталей.

Основное отличие роботов от 3D-принтеров – большая гибкость, которая достигается за счет наличия шести подвижных осей, то есть печатающая головка не только перемещается в пространстве, но и может менять ориентацию выхода материала в любом направлении и, конечно, радиус действия.

У роботов практически не ограничена область 3D-печати: помимо радиуса самого робота, который составляет от 1,2 м, пространственные границы печати могут быть расширены до 30 и более метров за счет трека линейных перемещений или порталных систем. В отличие от традиционных 3D-принтеров, роботы могут создавать гораздо большие структуры, перемещаясь по ним во время печати.

Кроме того, при роботизированной 3D-печати применяется уникальное программное обеспечение (ПО). Например, пакет RobotStudio PowerPac от мирового производителя роботов компании ABB (Швеция). Помимо стандартных опций, он позволяет провести 3D-симуляцию и предварительное тестирование печати в виртуальном контроллере. Таким образом, есть возможность еще на этапе проектирования отладить технологический процесс и убедиться в корректности будущего результата. И только после этого запускать печать реального изделия.

В российском промышленном сегменте основное развитие сегодня происходит в области 3D-печати металлами. В первую очередь, это производство ответственных компонентов для ракетно-космической и авиационной промышленности,

атомной энергетики и автомобилестроения, оборудования для нефтегазодобычи, а также их восстановление и ремонт. Также востребовано применение технологии при создании прототипов изделий и в реверс-инжиниринге.

Но потенциальная область применения значительно шире. Одно из наиболее материалоемких направлений – архитектура и строительство: от кастомизированной печати предметов интерьера до печати домов и стальных мостов. Например, компания из Нидерландов MX3D напечатала при помощи аддитивных технологий (АТ) первый в мире стальной мост длиной 12 м. Мост был изготовлен методом роботизированной 3D-печати, в качестве материала использовалась нержавеющая сталь. Роботизированный комплекс состоял из стандартных промышленных роботов, которые обычно используют на сборочных линиях в автомобильной промышленности, сварочного модуля и специального ПО, обеспечивающего 3D-печать металлом.

Важным фактором расширения области применения аддитивных технологий должно стать снижение себестоимости изделий, изготовленных с использованием АТ. Этого можно ожидать при выходе аддитивных технологий на масштабы производства и загрузки оборудования, сопоставимые с традиционными технологиями.

Учитывая, что мы стартуем практически с нуля – доля России в 2020 году не превышала 2% мирового рынка АТ, у российских производителей большой потенциал. Общий объем рынка АТ, по разным прогнозам, оценивается к 2025 году на уровне 33–35,6 млрд долл. Но удастся ли реализовать возможности в полной мере, будет зависеть от ситуации с санкциями и доступа наших производителей к электронными компонентам.

Андрей Медведев
технический директор
ООО «Иннсе-Берарди РУ»
(входит в Camozzi Machine Tools)



Наша компания предлагает клиентам оборудование из семейства MasterPrint® – линейки станков для аддитивного производства крупногабаритных деталей.

Общая для всех MasterPrint®-технология – это экструзия термопластичных смол, таких как ABS, ULTEM® PEI, нейлон, поликарбонат, PET-G PPSU-PESU, PEEK, соединенных с наполнителем из рубленого волокна, например из стекла или базальта, для придания прочности и стабильности размеров при изменении температуры и улучшения механических и тепловых свойств конечного изделия. Экструдеры, используемые в различных версиях MasterPrint®, имеют максимальную скорость печати от 10 до 230 кг/ч для номинального ABS 20%CF. Результаты будут отличаться для

разных материалов в зависимости от температуры расплава и вязкости материала.

Экструдеры поставляются с регулируемыми ориентационными соплами, позволяющими печатать под любым углом. Размер сопел рассчитан на получение номинального слоя шириной 1,8 см и толщиной 0,4 см при помощи модуляции скорости вращения шнека. Для каждого материала этот параметр может быть отрегулирован в определенных границах.

На данный момент наибольшее количество запросов и осуществленных проектов сконцентрированы в авиакосмической, оборонной, автомобилестроительной промышленности, в производстве пресс-форм, а также в образовании – проекты университетов и НИИ. Однако, мы видим большой потенциал и в других областях.

Отечественные производители сделали большой рывок в последние годы в области 3D-печати. Это касается как оборудования, так и материалов. Однако, сравнивая российские образцы с семейством MasterPrint®, не стоит забывать, что речь идет о высокотехнологичной печати крупноформатных деталей. Нами уже был реализован проект производства и поставки принтера с продольным перемещением портала по оси X 24 м. Помимо печати термопластичными материалами, на том же оборудовании можно выполнять фрезеровку напечатанной детали и даже выкладку волокон и лент ATL, AFP для создания полимерных композиционных материалов. На данный момент я не могу назвать ни одного отечественного производителя, который может предложить подобные технологии.

Важно отметить, что в некоторых областях стоимость изделий, изготовленных с использованием аддитивных технологий уже много ниже стоимости изделий, изготовленных на привычных металлообрабатывающих станках. Кроме того, есть примеры, когда технологии 3D-печати сделали возможным производство деталей сложной геометрии, которые невозможно произвести классическими методами. Актуально применение аддитивных технологий и для производства литевых моделей. В этом случае экономический эффект внедрения технологии будет различным на разных предприятиях, но что справедливо для любого завода – это экономия времени, повышение производительности и надежности процесса.



Игорь Шишковский
доктор физико-математических наук, профессор Сколковского института науки и технологий (Сколтех)

Аддитивные технологии будут, прежде всего, востребованы для медицинских применений – импланты, стенты, тканевые клеточные конструкции (scaffolds), системы дозированной доставки лекарств.

В целом, расширение применения аддитивных технологий будет наблюдаться в тех отраслях экономики, в которых преобладает мелкосерийное производство с большими затратами на подготовительную оснастку. Поэтому единичные экземпляры изделий, полученных методом 3D-печати, по стоимости сравниваются с традиционным производством (с учетом затрат на оснастку, логистику и пр.).

Говоря о соответствии отечественного оборудования и сырья современным требованиям стоит отметить, что в настоящее время качество материалов для 3D-печати, произведенных в России, изменяется от партии к партии, что не позволяет полагаться полностью на российских поставщиков. Кроме того, стремление к полному импортозамещению опережает технологические возможности отечественных изготовителей оборудования для аддитивных технологий. Это приводит к проблемам с качеством, воспроизводимостью оборудования. Сервис по обслуживанию такого дорогостоящего оборудования в России не развит (или отсутствует по ряду позиций). Это также снижает привлекательность приобретения оборудования, произведенного в РФ.

Это объясняется, в частности, тем, что доля российского рынка АП, включая технологии, материалы и т.п., по оценке компании Wohler Associates, из года в год остается на уровне нескольких процентов. По этой же причине туманными видятся и перспективы российского экспорта оборудования и сырья для аддитивных технологий.

Вопрос о том, когда стоимость изделий, изготовленных с использованием аддитивных технологий, будет сопоставима со стоимостью изделий, изготовленных по традиционным технологиям, звучит достаточно часто. В качестве ответа можно привести аналогию с рынком автомобилей: как только автомашины перешли из категории роскоши в категорию средств передвижения, очень быстро снизилась цена автомашин, развилась транспортная система и сервис.



Владимир Кузнецов
инженер по техническим решениям Sandvik Coromant

Если ограничить рассмотрение рынка аддитивных технологий (АТ) сегментом печати металлическими порошками, то российский рынок пока не очень велик, хотя и растет с каждым годом. В новых видах промышленной продукции все больше увеличивается доля комплектующих, изготовленных с помощью АТ.

Вполне естественно, что эти технологии наиболее востребованы в такой высокотехнологичной сфере, как авиакосмическая отрасль. С помощью аддитивных технологий удастся преодолевать ряд ограничений, таких как низкий технологический уровень заготовительного производства, зачастую низкое качество литья заготовок. Чтобы авиация соответствовала требованиям, которые сегодня диктует рынок, необходимо изготавливать изделия качественно, быстро и с минимальными вложениями. Применение АТ сокращает в разы сроки ввода новых изделий, а значит – экономически оправдано.

Для сравнения, в среднем изготовление детали из алюминия в зависимости от изделия, произведенного по технологии АТ, занимает от этапа проектирования до изготовления три недели, при этом сама печать займет около четырех часов. По традиционной технологии процесс проектирования, изготовления оснастки, получения первой заготовки и черновая обработка – могут занимать от полугода. При этом сохраняется вероятность, что деталь не будет отвечать заложенным конструктором параметрам, а значит – цикл придется повторять.

На втором месте по востребованности аддитивных технологий – медицинская отрасль. В этой сфере изготавливаются изделия как из металлов, так и из полимеров, поскольку последние обеспечивают лучшую приживаемость после операций.

Еще одна отрасль, в которой применяются аддитивные технологии – нефтегазовая. Ее особенность в удаленности некоторых производственных участков, в том числе добывающих подразделений. И транспортировка до буровой платформы в открытом море даже небольшой детали под замену обходится весьма дорого. С помощью современных технологий можно изготавливать не только отдельные детали, но и системы трубопроводов, элементы гидравлики высокого давления с незначительным весом и требуемыми параметрами.

Энергетика, атомная промышленность, строительство, машиностроение – практически во всех отраслях экономики аддитивные технологии будут задействованы в ближайшее время. Многое зависит от решительности конструкторов и смелости контролирующих органов каждой отрасли.

Рассматривая перспективы расширения применения аддитивных технологий нельзя обойти вниманием проблему качества исходных материалов. В принципе, качество российских порошков достаточно приемлемое, целый ряд видов подобной продукции хорошо зарекомендовали себя на внешних рынках. Растет конкуренция, что повышает качество и снижает цены.

На этом фоне очень достойно выглядит продукция крупного производителя алюминиевых порошков, специалистам которой удалось добиться высокого качества по доступной цене. С интересными предложениями

выходят на рынок и производители титановых порошков.

Не стоят на месте и российские производители оборудования для 3D-печати. Бытует мнение, что в российском оборудовании из отечественного только корпус и наклейки. Тем не менее, увеличивается доля локализованных основных компонентов, например лазерных установок и программного обеспечения.

В то же время пока трудно считать достаточным уровень сервисной поддержки. Отечественное оборудование – штучное, каждый образец уникален, поэтому запчасти приходится ждать долго. От момента звонка до приезда сервисного специалиста может пройти больше месяца.

С этой точки зрения импортное оборудование пока более привлекательно. Оно изготавливается серийно, в большинстве случаев нет проблем с запчастями. У компаний, имеющих филиалы на территории России, сервисные службы реагируют быстро, но таких единицы. Хочется верить, что и отечественные компании будут развивать качественный сервис.

Подводя некоторые итоги, стоит отметить, что стоимость изделий, изготовленных по аддитивным технологиям и традиционным способом, в некоторых отраслях уже вполне сопоставима. Более того, возникают ситуации, когда производить продукцию с помощью аддитивных технологий намного выгоднее. Постобработка при этом не отменяется, но требует незначительных ресурсов.

Пора уходить от ситуации, когда большинство предприятий являются, по сути, производителями стружки, традиционно используя изделия из проката или штамповки, переводя в отходы огромные объемы металла (иногда изделие теряет до 90% веса), это проще чем использовать новые, более прогрессивные методы и брать на себя ответственность за это. Пора всерьез задуматься о конкурентоспособности и экологии. Использование аддитивных технологий позволит сократить количество деталей, входящих в изделие, сэкономить на сборке и сварке, повысить надежность изделия и сэкономить время, а время – это самый ценный невосполнимый ресурс.

За то время, что аддитивные технологии присутствуют на российском рынке, выросло целое поколение инженеров, энтузиастов своего дела, которые живут этой темой и готовы к любым вызовам. А ведь львиную долю затрат времени на подготовку производства изделия по новой технологии занимают именно инженерные работы, в том числе реинжиниринг традиционного изделия под изготовление методом АТ.

Технологии не стоят на месте. То, что было современным три года назад, сейчас считается устаревшим, а то, что сегодня кажется нереальным, завтра будет обычным. Главное – быть в тренде и не отставать.



Михаил Жеребцов
руководитель группы
серийного производства
АО «ЦАТ»



Алексей Васильев
главный маркетолог
АО «ЦАТ»

Во-первых, стоит зафиксировать, что на рынке присутствуют российское оборудование и порошковые материалы для аддитивного производства, соответствующие современным требованиям. За последнее время заметно улучшилось качество отечественного оборудования и его сервисное обслуживание, причем эти показатели продолжают стремительно расти. Тем не менее, пока уровень российских производителей ниже, чем у ведущих зарубежных производителей по функциональности и стабильности получаемого результата.

Стоимость отечественного оборудования для аддитивных технологий в среднем по рынку на 10–20% ниже. Что же касается материалов, то на рынке присутствуют порошки российских производителей, качество которых зарекомендовало себя достаточно высоко. В частности, АО «ЦАТ» использует металлопорошковые композиции таких производителей, как АО «Полема», ООО «Гранком», НИЦ «Курчатовский институт», ВИАМ, АО «СМК» и др.

В то же время разработка и производство оборудования для аддитивного производства в России находится на самой ранней стадии развития, поэтому говорить о его экспортном потенциале, пожалуй, пока рановато, а вот технологии и изделия могут быть достаточно конкурентны на внешних рынках в силу низкой себестоимости отечественных материалов, энергоресурсов и затрат на персонал.



Маркус Хиринг
управляющий директор
рабочей группы
по аддитивному производству
Ассоциации машиностроителей
Германии (VDMA)

В Германии наиболее активно применяются аддитивные технологии (АТ) в авиационной и космической промышленности. Мы наблюдаем рост использования АТ в медицине, особенно стоматологии. И, конечно же,

в машиностроении. Мы видим, что в нашей отрасли все больше и больше развивается аддитивное производство деталей из металлических порошков, а также печать пластиком, полимерами. Заметно активное внедрение АТ в автомобильной промышленности.

Для содействия внедрению АТ в промышленное производство весной 2014 года в Ассоциации VDMA создана рабочая группа по аддитивному производству. Сейчас в нее входит около 175 компаний-членов, и у нас есть представители по всей технологической цепочке. Это означает, что у нас есть специалисты по программному обеспечению, компании-производители оборудования, поставщики материалов, исследовательские институты, пользователи и поставщики услуг для технологий и оборудования аддитивного производства. У нас есть все, кто вовлечен во внедрение АТ в промышленные производства различных отраслей. Хочу еще раз подчеркнуть, что наша общая цель – промышленное применение АТ. Мы, как Ассоциация VDMA, представляем машиностроительную отрасль, а значит, и обрабатывающую промышленность. Наша задача обсудить, какие шаги необходимы для более широкого признания аддитивного производства в промышленности.

Необходимо проведение работ в области стандартизации и сертификации оборудования и материалов АТ, особенно в авиационной и космической промышленности. Мы постоянно делаем шаги вперед, и все больше оборудования и материалов стандартизируется и сертифицируется. Прогресс в этом направлении становится все более и более устойчивым, и я думаю, что за последние два года мы сделали здесь большой шаг вперед.

Отдельная проблема – образование. Мы должны еще больше интегрировать аддитивные технологии в обучение следующего поколения инженеров. Это вызов с разных сторон. Известно, что наши инженеры-конструкторы и инженеры-технологи научились за десятилетия конструировать и строить машины на основе традиционных методов и технологий производства и знают как это делать. И теперь у нас есть новая технология, совершенно другие возможности и мышление. И нам нужен новый подход в инженерии, и единственный способ – изменить образование и сделать АТ его частью. И мы работаем вместе с правительством Германии в области образования, в частности инженерного образования, и пытаемся внедрить обучение в области аддитивного производства как часть схемы обучения.

Мы должны плотнее общаться с политиками в Берлине, а также, возможно, и в Европе о будущем АТ и возможностях АМ, чтобы они знали, что это перспективная технология с большим будущим. Думаю, что одним из важнейших вопросов для нас является сотрудничество с выставками, такими как Rosmould в России, но также, конечно, с formnext. Это одна из наших PR-активностей с целью популяризации АТ в обществе и среди соответствующих игроков на рынке, сделать информацию об АТ более понятной и информировать рынок о последних достижениях.



rosmould

featuring 3D-TECH Area

rosmould.ru



Промокод для получения
бесплатного билета

RM22-G92XY

Международная выставка
форм, пресс-форм, штампов,
услуг по проектированию
изделий и их контрактному
производству

07–09.06.2022

МВЦ «Крокус Экспо», Москва



messe frankfurt

mesago

Messe Frankfurt Group

Способ сборки блока аддитивных термоудаляемых литейных моделей

И. О. Леушин, О. С. Кошелев, Л. И. Леушина,
А. В. Нищенков, П. М. Явтушенко

Предложен усовершенствованный вариант сборки модельного блока. Модели отливок с питателями и стояка изготавливались 3D-печатью по аддитивной FDM-технологии из CAST-пластика. Приведены результаты проверки эффективности сборки в условиях действующего производства.

Ключевые слова:

литье по термоудаляемым моделям, аддитивная технология, 3D-печать, термопластик, выбор, неразъемное соединение, паз, шип, рекомендация

УДК 621.74 | ББК 05.16.04

DOI: 10.22184/2499-9407.2022.26.1.40.42

Одним из ответственных этапов изготовления литейных форм при производстве точных отливок из черных металлов и сплавов цветных металлов по термоудаляемым (выплавляемым или выжигаемым) моделям, в том числе полученным методом 3D-печати (аддитивные технологии), является сборка блока удаляемых моделей.

Основными проблемами, которые приходится решать на производстве при реализации данного технологического процесса, являются недостаточная точность, высокая трудоемкость, а в некоторых случаях и энергозатратность отдельных операций сборки.

В настоящее время на практике применяется несколько вариантов способа неразъемного соединения удаляемых моделей отливок и элементов литниково-питающей системы в единое целое:

1. припайвание, когда нагретое лезвие ножа или электрического паяльника помещают между посадочными частями элементов блока, одновременно касаясь и оплавливая их, а затем быстро убирают, а соединяемые части слегка прижимают друг к другу [1];
2. сборка в кондукторе [1];
3. секционная сборка на металлический стояк-каркас с механическим зажимом, разработанная НИИТАвтомпроме [1];
4. склеивание [2];
5. применение обратных уклонов у сопрягаемых деталей в сочетании с заливкой образуемого замкового пространства расплавленной модельной композицией [3];
6. использование соединения сопрягаемых частей блока с натягом [2];
7. механическое соединение «паз – шип» в виде ласточкиного хвоста или другой формы [1].

Каждый из перечисленных способов характеризуется своими недостатками.

Для первого – это низкая надежность соединения элементов и высокая вероятность нарушения геометрии блока вплоть до разрушения как во время сборки блока, так и на последующих операциях изготовления литейной формы и отливки. Причиной является то, что операции подготовки к сборке блока, в частности выбор места спая, зачистку места спая, прижим элементов блока и обеспечение плавности перехода в местах их сопряжения, проводят вручную. При этом повышается вероятность смещения моделей, искажения размеров элементов блока из-за излишнего оплавления, а прочность соединения элементов блока нестабильна вследствие неполного пропайвания зазора между посадочными частями сопрягаемых моделей. Поэтому в некоторых случаях для предотвращения поломки блока приходится использовать специальные легкоплавкие монтажные сплавы (припой), а также металлические каркасы, что существенно усложняет и повышает трудоемкость операций сборки блока [4]. Кроме того, способ не всегда дает возможность собрать модели из плохо спаивающихся модельных составов, а его реализация применительно к моделям из термопластов с высокой температурой плавления, полученных методом 3D-печати, требует высоких энергозатрат и применения специального инструмента.

При втором способе на первый план выходит высокая стоимость изготовления кондуктора. Помимо этого, сохраняются проблемы, характерные для сборки припайванием, обусловленные плохой спаиваемостью и высокой температурой плавления материала элементов модельного блока, а также связанные с необходимостью высокой квалификации производственного персонала.

Третий способ имеет ограниченную область применения (цеха крупносерийного и массового производства отливок), обусловленную необходимостью использования для сборки специальных приспособлений.

Четвертый вариант сборки наиболее распространен. Его недостаток определяется необходимостью выбора, подготовки и использования специального клея и, как следствие, увеличением числа производственных операций, а также повышением как трудоемкости и длительности изготовления блока, так и всего производственного цикла производства отливок. Кроме того, по причине запаха, высокой летучести и пожароопасности компонентов клея, операция склеивания элементов блока снижает экологическую безопасность на рабочем месте и ухудшает условия труда персонала.

Техническое решение по пятому варианту также не свободно от недостатков. Область его применения ограничена литьем по выплавляемым моделям, изготовленным из модельных композиций с невысокой температурой плавления, которые при комнатной температуре легко сминаются. Решение характеризуется трудоемкостью реализации из-за сложности конструкции стояка с внутренними каналами и необходимости дополнительной операции запрессовки модельного состава в каналы стояка. Наличие взаимообразных уклонов пазов и выступов сопрягаемых элементов блока в полной мере не гарантирует устранения зазора между ними, поскольку при их относительном сдвиге в ходе сборки слой сминаемого материала движется в направлении от зазора, а не наоборот, и не заполняет его. Надежность соединения во многом зависит от полноты затвердевания модельного состава вокруг замковой части выступа питателя и существенно снижается в случае недостаточного уровня давления его запрессовки в каналы стояка по причине газового противодействия.

Использование соединения сопрягаемых частей блока с натягом по шестому варианту ограничено упругими свойствами материала элементов блока.

Механическое соединение «паз – шип» в виде ласточкиного хвоста или другой формы (седьмой вариант) характеризуется высокой вероятностью искажения геометрии блока при сборке и нарушения неразъемности соединения его элементов по причине недостаточной надежности из-за возможного смещения выступа относительно паза, обусловленного наличием зазора между ними.

С целью повышения надежности соединения элементов блока удаляемых моделей путем минимизации искажения геометрии модельного блока в целом и сохранения неразъемности соединения отдельных элементов блока при сборке, был разработан усовершенствованный способ сборки модельного блока, для которого в качестве прототипа был выбран седьмой вариант решения проблемы.

Он предусматривает использование известного механического соединения сопрягаемых элементов модельного блока по типу «паз – шип» в виде ласточкиного хвоста или другой формы. При этом на посадочной поверхности шипа

выполняют канавки, глубину паза выбирают из условия превышения длины шипа не менее чем на 25%, а посадочную поверхность паза перед сборкой нагревают до температуры на 10–15° выше уровня температуры размягчения материала моделей (рис. 1).

Выполнение канавок на посадочной поверхности шипа необходимо для формирования после его сопряжения с пазом (входа шипа в паз сопрягаемого элемента блока) емкости для приема размягченного материала модели и последующего по окончании затвердевания материала образования замка, препятствующего смещению шипа относительно паза.

Выбор глубины паза не менее чем на 25% большей длины шипа дает возможность снизить газовое противодействие, неизбежно возникающее в ходе сборки при введении шипа в паз, если последний представляет собой глухое отверстие. Эмпирически установлено, что при глубине паза, меньшей на 25% длины шипа, возникает необходимость увеличения усилия прижима сопрягаемых элементов блока и, как следствие, возрастает вероятность поломки его тонкостенных и ажурных частей.

Нагрев посадочной поверхности паза перед сборкой выполняется для временного увеличения площади сечения, принимающего шип, а также размягчения материала моделей до температуры, при которой резко возрастает его деформируемость и возникает текучесть.

Как показала экспериментальная проверка, проведенная на ряде материалов удаляемых моделей (парафино-стеариновая композиция, полипропилен, темплен, фторопласт, полиарилат, полиамид), превышение уровня температуры размягчения материала моделей на 10–15° обеспечивает стабильность эффекта текучести. Нагрев до температур меньшего уровня не гарантирует текучести материала. Перегрев материала до более высоких температур экономически нецелесообразен и повышает вероятность нежелательной термодеструкции, способствующей возникновению дополнительного газового противодействия в емкости паза.

Предлагаемый способ сборки модельного блока реализуется следующим образом. На посадочной поверхности шипа предварительно выполняются канавки. Глубину паза

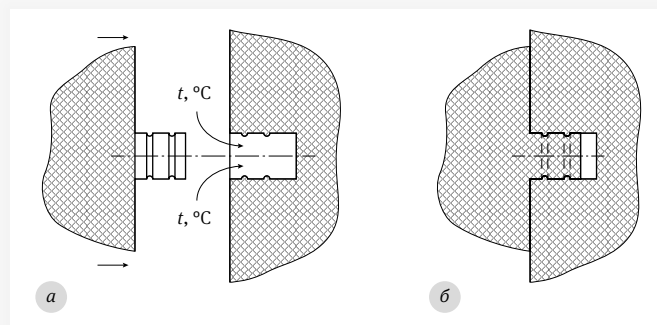


Рис. 1. Усовершенствованная сборка модельного блока: а – подготовка к сборке; б – результат сборки

Таблица 1. Результаты сравнения опытной и контрольной партий блоков удаляемых литейных моделей

	Общее число соединений «паз – шип»	Контроль после сборки блока (качество и прочность соединения)	Контроль после выбивки (геометрия отливок с литниково-питающей системой)	Число соединений, успешно прошедших проверку, количество / %
Опытная партия (предлагаемое решение)	20	Все блоки успешно прошли проверку	Все блоки и отливки успешно прошли проверку	20 / 100
Контрольная партия (прототип)	20	Два блока (8 соединений) не прошли проверку по причине смещения шипа относительно паза и не были допущены в дальнейшее производство	Коробление зафиксировано у одной отливки (4 соединения)	8 / 40

выбирают не менее, чем на 25% большей, чем длина шипа. Посадочную поверхность паза перед сборкой нагревают до температуры на 10–15° выше уровня температуры размягчения материала моделей. Затем модель (или секцию моделей) с шипом с небольшим усилием прижимают к сопрягаемому элементу блока с пазом так, чтобы шип полностью вошел в паз. При этом часть отверстия паза остается свободной и выполняет функцию сбора газа, вытесняемого шипом при сборке, а размягченный текучий материал моделей заполняет канавки шипа и после затвердевания в них «запирает» соединение, не давая возможности шипу сместиться относительно паза.

Для оценки эффективности предлагаемого способа по сравнению с прототипом проводилась проверка в условиях действующего производства. Собирались по пять блоков удаляемых литейных моделей согласно предлагаемому способу (опытная партия) и прототипу (контрольная партия). Модели отливок с питателями и стояка изготавливались 3D-печатью по аддитивной FDM-технологии из CAST-пластика – материала на основе полиметилметакрилата (PMMA) с добавлением специальных пластификаторов (термопластичный полимерный материал). Каждый из блоков опытной и контрольной партий включал модель стояка с толщиной стенки 60 мм, а также одну модель отливки с четырьмя питателями (одинаковой геометрии для блоков опытной и контрольной партий). Минимальная толщина стенки модели отливки составляла 12 мм. На торцах питателей выполнялись шипы (выступы) диаметром и длиной по 10 мм. Посадочные поверхности шипов моделей отливок с питателями опытной партии имели по две канавки шириной 2 мм и глубиной 1,5 мм. Посадочные поверхности шипов моделей отливок с питателями контрольной партии оставались гладкими и не имели канавок. Глубина пазов в элементах блока опытной партии составляла 15 мм, контрольной партии – 12 мм. Перед сборкой посадочная поверхность пазов нагревалась газовой горелкой до температуры 125 °С (температура размягчения PMMA составляет 110 °С). Контроль нагрева проводился инфракрасным термометром (пирометр) марки DT-811. Модели с шипом с небольшим усилием прижимали к сопрягаемым элементам блоков с пазом так, чтобы шип полностью вошел в паз, после чего выдерживали в течение пяти минут. Затем проводили визуальный контроль качества соединения и манипуляторную проверку его прочности.

Собранные модельные блоки опытной и контрольной партий, успешно прошедшие проверку, использовали для изготовления отливок из номенклатуры предприятия массой 18,5 кг из стали 40Л ГОСТ 977 методом литья в объемные керамические формы по выжигаемым моделям: по технологии, действующей на предприятии. После выбивки до обрубки проводился контроль геометрии отливок с литниково-питающей системой. Результаты сравнения опытной и контрольной партий приведены в табл. 1.

Испытания показали высокие эффективность усовершенствованной схемы, а также качество сборки модельных блоков и получаемых отливок.

Литература

1. **Иванов В. Н., Казеннов С. А., Курчман Б. С. и др.** Литье по выплавляемым моделям / Под ред. Я. И. Шкленника, В. А. Озерова. М.: Машиностроение, 1984. 408 с.
2. **Шуляк В. С.** Литье по газифицируемым моделям. СПб: Профессионал, 2007. 408 с.
3. Авторское свидетельство СССР № 1419790 «Модельный блок», В22 С7 / 02, 1988.
4. **Репях С. И.** Технологические основы литья по выплавляемым моделям. Днепропетровск: Лира, 2006. 1056 с.

Авторы

Леушин Игорь Олегович – доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева; заведующий кафедрой «Металлургические технологии и оборудование»

Кошелев Олег Сергеевич – доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

Леушина Любовь Игоревна – кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

Нищёнков Александр Владимирович – кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

Явтушенко Павел Михайлович – начальник управления инновационного и технического развития ПАО «РУСПОЛИМЕТ»

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ И УЧАСТИИ:

Министерства промышленности, связи,
цифрового и научно-технического развития
Омской области,

Министерства региональной безопасности
Омской области,

Администрации города Омска,

ОРО ООО «Союз машиностроителей России»,

Представительства ГК «Ростех» в Омской области,

Союза «Омская Торгово-промышленная палата»,

Омская ассоциация промышленников и предпринимателей
(Региональное отделение Российского союза
промышленников и предпринимателей),

Ассоциации «Омский региональный центр компетенций ТЭК»,

АНО «Омский НОЦ»

2 - 4 марта 2022г. ОМСК

XXIII СИБИРСКИЙ ПРОМЫШЛЕННО- ИННОВАЦИОННЫЙ ФОРУМ

ПРОМТЕХЭКСПО

В ЭКСПОЗИЦИИ ФОРУМА:

ОМСКГАЗНЕФТЕХИМ

МАШИНОСТРОЕНИЕ

МЕТАЛЛООБРАБОТКА

СВАРКА

ЭНЕРГОСИБ, СИБМАШ, ТЭК

ИНЭКСПО

АВТОМАТИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРОНИКА,

ИЗМЕРЕНИЯ

IT-ТЕХНОЛОГИИ

СВЯЗЬ

**Одновременно проводится выставка
«ИНДУСТРИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И СВЯЗИ»**

ОМСК-ЭКСПО

ВЫСТАВОЧНАЯ КОМПАНИЯ


ИнтерСиб

тел./факс: +7 (3812) 23-23-30

e-mail: expo@intersib.ru

www.intersib.ru

Некоторые особенности формирования структуры и свойств новых алюминиевых сплавов при аддитивном производстве

Д. К. Рябов, И. А. Грушин, А. Г. Сеферян

Представлены результаты исследований ряда алюминиевых сплавов различных систем легирования, получаемых по технологии СЛС, и проведен их сравнительный анализ с традиционными литейными и деформируемыми алюминиевыми сплавами.

Ключевые слова:

аддитивные технологии, алюминиевые сплавы, селективное лазерное плавление, технология послойного синтеза, 3D-печать

УДК 539.232 | ВАК 05.16.09

DOI: 10.22184/2499-9407.2022.26.1.44.50

Введение

Развитие различных отраслей науки и техники невозможно представить без применения новых материалов и технологий. Одним из наиболее перспективных направлений сегодня являются аддитивные технологии, позволяющие получать готовые детали или точные заготовки путем послойного наращивания и синтеза из порошков или других видов сырья. В совокупности с новыми подходами к проектированию (бионический, генеративный дизайн, и т. д.) использование технологий селективного лазерного сплавления (СЛС) позволяет получать геометрически сложные изделия из различных типов металлических сплавов [1–3]. Уже сейчас видна тенденция постепенного перехода данных технологий от стадии исследований и оценки концепции к стадии использования в серийном производстве. Крупные международные компании успешно применяют аддитивные технологии для изготовления металлических деталей, работающих в достаточно ответственных элементах [4, 5].

Алюминиевые сплавы являются широко используемыми конструкционными материалами, что связано с их низкой плотностью, удовлетворительной коррозионной

стойкостью и хорошей обрабатываемостью резанием. Они активно рассматриваются проектировщиками и конструкторами, в том числе для получения деталей с использованием технологий 3D-печати. При этом, помимо использования стандартных сплавов (типа $AlSi10Mg$), наблюдается тенденция по разработке новых композиций, специально адаптированных под технологии СЛС [6–8]. В первую очередь это связано с тем, что для создания более совершенных легких деталей требуются материалы с повышенными удельными характеристиками, а обычные литейные алюминиевые сплавы после печати не могут конкурировать даже со среднепрочными деформируемыми сплавами, широко применяемыми в авиационно-космической технике и транспортном машиностроении.

Создание новых материалов требует понимания особенностей процесса переплава и быстрой кристаллизации, так как структура полученного методом 3D-печати изделия из алюминиевого сплава отличается от структуры отливки или деформированного полуфабриката. Кроме того, процессы печати сопровождаются возникновением повышенных внутренних напряжений и склонностью ряда материалов к горячим и холодным трещинам

вследствие повторяющихся операций переплава и кристаллизации довольно тонких слоев [9].

Используя эти особенности процесса СЛС, можно получать новые композиции алюминиевых сплавов, которые обладают либо повышенными характеристиками прочности, либо повышенными рабочими температурами. Компания РУСАЛ, являющаяся производителем порошков для аддитивного производства, также работает над созданием новых алюминиевых материалов, которые производятся под маркой РС-XXX, где XXX – трехзначный номер (марка) сплава.

Материалы и методы исследований

Особенности структурного и фазового состояния порошков для аддитивного производства обусловлены особенностями их получения. В настоящий момент одним из наиболее распространенных способов получения порошков для метода СЛС, позволяющим обеспечить высокую производительность процесса, скорость получения и качество материала, является технология диспергирования расплава под действием инерционных сил газового потока, или газовая атомизация. Алюминиевые порошки, используемые для исследования, произведены в условиях металлургического предприятия «Валком-ПМ» (г. Волгоград) по технологии газовой атомизации. В качестве распыляющего газа был использован азот. Для печати применяли 3D-принтер EOS 290M и порошок, который был классифицирован на фракцию +15 / -63 мкм, D50 составило около 41 мкм. Для каждого сплава были разработаны специальные параметры печати, зависящие от его поведения в процессе.

Для термической обработки деталей и образцов использовалась печь Naberterm, оснащенная принудительной конвекцией воздуха.

Микроструктурные исследования проводили на шлифованных и полированных с помощью суспензии образцах как без травления, так и после травления реактивом Келлера. Для исследования использовали оптический металлографический инвертированный микроскоп Carl Zeiss и сканирующий электронный микроскоп Tescan Mira.

Испытания на растяжение проводились с использованием универсальной испытательной машины MTS Criterion согласно ГОСТ 1497-84.

Результаты и обсуждение

Технология СЛС представляет собой, по сути, послойное наплавление слоя порошка из алюминиевого сплава

на подложку, которая на первых слоях представляет собой алюминиевую плиту, а на последующих – сплавленный слой печатаемого материала [10]. Именно поэтому для исключения дефектов в виде горячих трещин необходимо использовать сплавы, которые обладают высокими литейными характеристиками, в частности – пониженной склонностью к образованию горячих трещин при кристаллизации.

В отличие от традиционного литейного производства, особенности технологии СЛС позволяют достичь высоких скоростей охлаждения и кристаллизации расплава, что приводит к существенным изменениям при формировании структуры, фазового состава, а соответственно, свойств синтезированных материалов [11]. В результате быстрой кристаллизации в сплавах создаются условия для существенного расширения границ растворимости относительно равновесных состояний, уменьшения размерных показателей структурных составляющих (диспергирование), формирования метастабильных компонентов и частичной аморфизации [12]. Все это в совокупности приводит к формированию уникального комплекса физико-механических характеристик изделий, получаемых из порошковых материалов методами СЛС.

В качестве показательной иллюстрации целесообразно сравнить структуру и свойства силумина (сплава системы Al-Si). Одним из широко применяющихся в мире литейных сплавов является сплав марки AlSi7Mg, из которого отливают колесные диски, а также другие детали автомобильной техники. Его аналогом по составу является отечественный порошковый сплав для аддитивных технологий марки РС-356, производимый «Валком ПМ». Изображение порошка представлено на рис. 1.

Полученный порошок был использован для получения методом 3D-печати различных деталей и образцов для

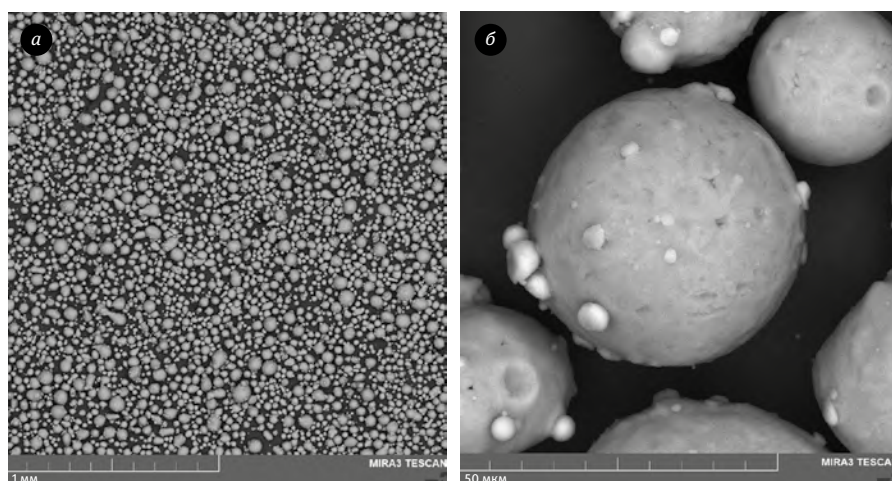


Рис. 1. Порошковый материал из сплава AlSi7Mg0,3, полученный газовой атомизацией: а – общий вид; б – изображение отдельной частицы



Рис. 2. Деталь, изготовленная из алюминиевого порошка марки PC-356

исследований. В качестве примера на рис. 2 представлено колесо, изготавливаемое из сплава PC-356.

Для сравнения с напечатанным изделием была выбрана отливка типа колесный диск, получаемая на одном из отечественных заводов. Местом сравнения была определена ступичная часть, в которой условия кристаллизации типичны для кокильного литья габаритных изделий.

В отличие от отливок, получаемых из этого же сплава (рис. 3а), структура которых имеет довольно выраженное эвтектическое строение (дендриты твердого раствора окружены кремнийсодержащей эвтектикой), структура напечатанной детали при аналогичных увеличениях не демонстрирует наличия различных фаз [6]. Тем не менее, методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) можно оценить особенности структуры. Видно, что в целом напечатанные изделия обладают характерной литой структурой и состоят из мелких дендритов, окруженных кремниевой фазой. При этом визуально количество кремниевой фазы несколько меньше, чем при литье, что может быть связано с получением пересыщенного кремнием твердого раствора алюминия (так как печать проводилась на холодной подложке). Необходимо отметить, что в процессе печати возникают

неизбежные дефекты, которые могут оказывать существенное влияние на конечные свойства деталей. В первую очередь в алюминиевых сплавах, полученных по данной технологии, наблюдаются поры [10].

Кроме того, могут появляться непроплавы, вызванные неправильными параметрами процесса или некачественными порошками (имеющими неправильную форму), а также горячие трещины. Источником пор при печати могут выступать различные газовые примеси, растворенные, либо адсорбированные порошком, а также неправильные режимы печати, хотя на сегодняшний день аддитивные технологии позволяют получать значение плотности более 99,5% [6, 13, 14].

Необходимо отметить, что размер дендритного зерна после печати в 20 и более раз мельче, чем в отливке. В результате формирования мелкодисперсной структуры сплава после СЛС, синтезируемый материал показывает более высокие механические характеристики, чем в изделиях, полученных методами традиционного литья, даже после термической обработки по режимам Т6 (закалка и искусственное старение). Различие во временном сопротивлении и пределе текучести составляет 18 и 16% соответственно (см. табл. 1), что хорошо согласуется с законом Холла – Петча.

Таким образом, использование литейных сплавов для печати изделий может являться альтернативой литью, так как характеристики полученного материала находятся на уровне, не уступающем характеристикам отливок, полученных по методу кокильного литья, и существенно превышают уровень отливок, полученных литьем в землю.

Необходимо отметить, что высокие скорости охлаждения приводят к получению крайне неравновесной структуры, которая может претерпевать существенные изменения в процессе термической обработки и прохождения связанных с ней диффузионных процессов. Это может приводить как к снижению характеристик прочности (за счет снижения количества дефектов, релаксации внутренних напряжений и укрупнения структурных составляющих), так и к их повышению (за счет процессов дисперсионного упрочнения).

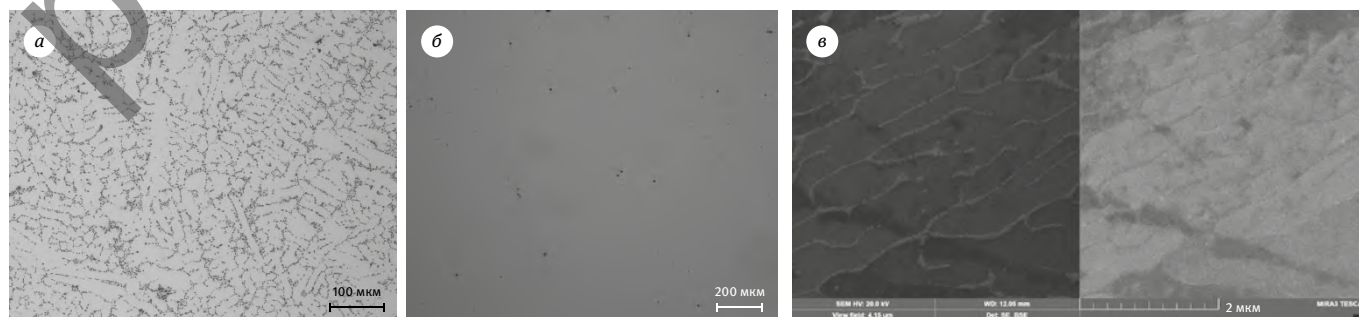


Рис. 3. Микроструктура отливки из сплава AlSi7Mg (а) и сплава PC-356 после СЛС (микроскопия: б – оптическая; в – электронная)

Таблица 1. Механические характеристики отливки сплава AlSi7Mg (ступичная часть) и сплава PC-356 (направление XY)

Свойства	AlSi7Mg	PC-356		
	Отливка (Т6)	После синтеза	Т6	Отжиг
Предел прочности (σ_B), МПа	285	350	310	300
Предел текучести ($\sigma_{0,2}$), МПа	190	210	240	190
Относительное удлинение d_5 , %	12	13,0	11	14

С этой точки зрения сплавы системы «алюминий – кремний» являются хорошим примером, демонстрирующим деградацию структуры с увеличением температуры термического воздействия на них. Как было показано выше, в них формируется дисперсная структура как твердого раствора, так и фазы на основе кремния. На рис. 4 показано изменение структуры сплава PC-356 при различных отжигах.

Анализ структуры показывает, что кремний склонен к коагуляции. В процессе отжига при температуре 300 °С происходит выравнивание метастабильного состояния структуры, сформировавшегося в результате быстрого охлаждения при СЛС, и существенное уменьшение протяженности фазовых границ (это явление в целом характерно и для литых силуминов, когда в процессе нагрева под закалку происходит сфероидизация кремния [15]), а при температуре 500 °С наблюдается растворение частиц кремния, расположенных по границам зерен, вследствие чего происходит разупрочнение малоугловых межфазных разделов с последующим ростом структурных составляющих, что, в свою очередь, приводит к общему разупрочнению материала и, как результат, к снижению временного сопротивления и предела текучести. Характеристики прочности сплава снижаются, что хорошо иллюстрируется

данными табл. 1: в режиме Т6 дополнительно присутствует ступень искусственного старения, поэтому характеристики прочности несколько выше, чем после отжига.

Помимо применения стандартных алюминиевых сплавов для технологий СЛС, перспективным является создание новых композиций с учетом особенностей процесса, что позволяет управлять их структурой.

Одной из перспективных систем легирования является система «алюминий – магний», так как сплавы на ее основе демонстрируют одни из лучших показателей коррозионной стойкости, к тому же они являются свариваемыми, что потенциально означает удовлетворительную технологичность при аддитивном производстве. Кроме того, для получения высоких характеристик данные сплавы не нуждаются в закалке и последующем искусственном старении, что позволяет исключить из технологической цепочки эту операцию, так как она может негативно повлиять на конечную геометрию деталей ввиду потенциальных поводок.

Для создания материалов на базе данной системы был исследован сплав АМг6, что обусловлено его широким применением для различных изделий космической техники и судостроения. Объектом исследования был выбран сферический порошок с химическим составом в соответствии с ГОСТ 4784.

При отработке параметров синтеза порошка сплава АМг6 оказалось, что сплав является не очень технологичным, так как высокоскоростные режимы печати приводят к образованию горячих трещин в структуре, а из-за высокого содержания магния формируются достаточно крупные поры (рис. 5), размер которых превышает 100 мкм. Эти дефекты не позволяют использовать данный сплав для печати ответственных изделий, так как они негативно

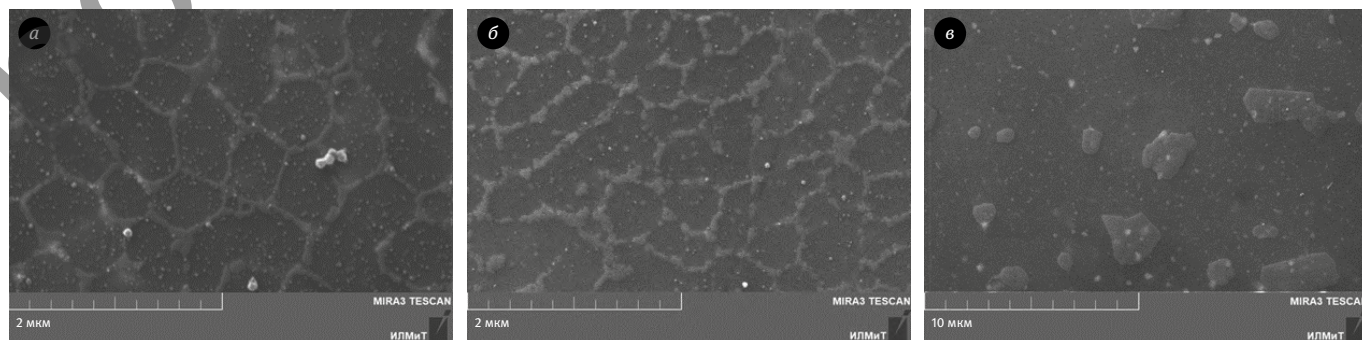


Рис. 4. Эволюция структуры сплава Al–Si в синтезированном состоянии после различных обработок: а – после печати; б – отжиг при температуре 300 °С; в – отжиг при температуре 500 °С

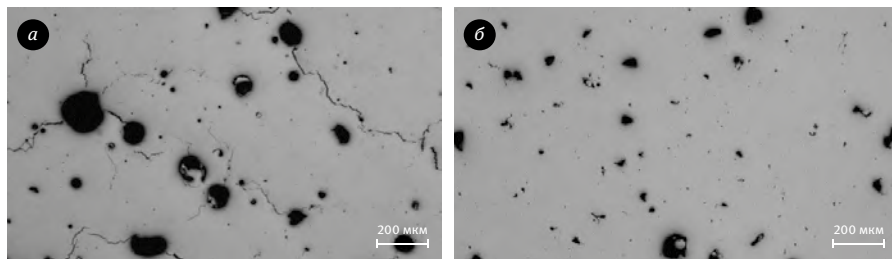


Рис. 5. Примеры структуры напечатанных образцов сплава AMg6

влияют как на характеристики кратковременной прочности, так и усталости.

Снижение склонности к горячим трещинам можно обеспечить как за счет корректировки химического состава, в частности содержания магния, так и путем использования различных элементов-модификаторов, которые, изменяя размер зерна, могут снижать склонность к трещинообразованию. В связи с этим в дальнейшем исследования данной системы были сосредоточены на введении модифицирующих элементов.

Один из составов был дополнительно легирован скандием, так как скандий является чрезвычайно эффективной добавкой в алюминиевые сплавы. Его влияние объясняется формированием фазы типа Al_3Sc , которая может растворять в себе другие элементы, такие как Zr, Y и пр. Данная фаза имеет кристаллическую структуру типа $L1_2$ с параметрами, близкими к параметрам алюминиевой матрицы [16, 17]. За счет этого в структуре материала успешно сохраняется когерентная межфазная граница. С учетом того, что данная фаза выделяется обычно в виде наноразмерных дисперсоидов, она обеспечивает

эффективное упрочнение сплава. Дополнительной особенностью данной фазы является то, что она является стабильной по сравнению, например, с фазой Al_3Zr , которая при высокотемпературном нагреве меняет тип кристаллической решетки, снижая эффективность упрочнения. Кроме того, эффективность скандия уже была доказана для 3D-печати на примере зарубежных исследований [18, 19].

В качестве характеристик, косвенно характеризующих технологичность, были выбраны пористость и скорость печати, которая определяется по формуле:

$$V = v \cdot d \cdot t,$$

где v – скорость сканирования лазером, d – межтрековое расстояние и t – толщина слоя.

Из рис. 6 видно, что применение элементов-модификаторов повышает скорость печати с получением структуры одинакового качества. При этом сплав, содержащий скандий, демонстрирует наилучшие показатели скорости. Это обстоятельство достаточно важно, так как повышение скорости печати напрямую влияет на снижение себестоимости деталей.

Для демонстрации влияния элементов-модификаторов на структуру на рис. 7 представлена карта EBSD (Electron Backscatter Diffraction – исследование кристаллических объектов посредством электронной микроскопии с использованием дифракции обратно рассеянных электронов), из которой видно, что добавки скандия и циркония приводят к формированию недендритной структуры с наличием ультрадисперсных зон, при этом в скандийсодержащем сплаве размер зерен в областях с мелким зерном не превышает несколько микрон. Этот факт объясняет пониженную склонность к горячим трещинам, однако и в материале без добавок скандия наблюдается картина, отличная от сплава AMg6 (в котором присутствуют только добавки марганца и примеси железа и кремния).

На базе исследований были разработаны составы двух алюминиевых порошковых сплавов для 3D-печати. Сплавам были присвоены наименования PC-507 (материал без добавки скандия, который отличается низкой стоимостью) и PC-553 (с добавкой скандия, который отличается повышенными характеристиками прочности). Оба материала после печати требуют отжига для снятия внутренних напряжений и формирования максимальной прочности, так как в процессе отжига происходит в том числе дисперсионное упрочнение.

В сплаве PC-553 по сравнению с зарубежными аналогами было снижено содержание скандия и произведена его частичная замена другими элементами-модификаторами,

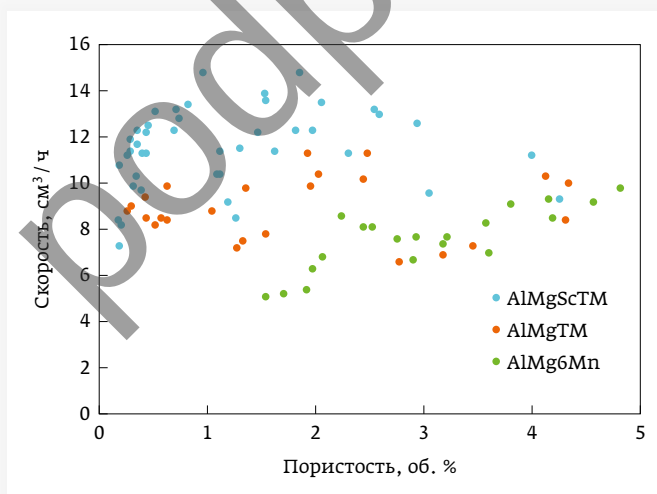


Рис. 6. Показатели скорости печати и пористости при различных параметрах печати сплавов AMg6, Al–Mg–PM и Al–Mg–Sc

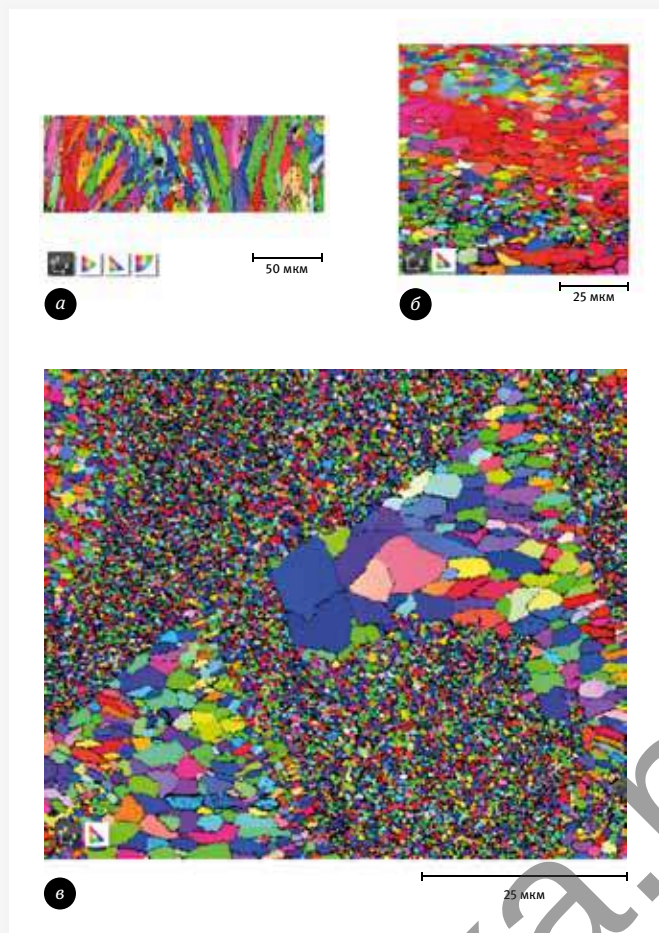


Рис. 7. EBSD-карта для синтезированных сплавов:
а – AMg6; б – Al–Mg с добавкой переходных металлов;
в – Al–Mg с добавкой скандия

которые позволили сохранить характеристики прочности за счет формирования аналогичных наноразмерных дисперсоидов. Разработанные параметры процесса СЛС обеспечивают уровень пористости не выше 0,5 об. %, что позволяет использовать данные материалы для печати различных нагруженных и ненагруженных деталей. Характеристики синтезированных материалов приведены в табл. 2.

Использование материалов повышенной прочности позволяет проводить оптимизацию конструкции существующих деталей с целью снижения их веса, что является достаточно актуальной задачей для различных отраслей, где вес конструкции в целом является определяющим фактором эффективности. С целью демонстрации преимуществ применения новых материалов была проведена оптимизация

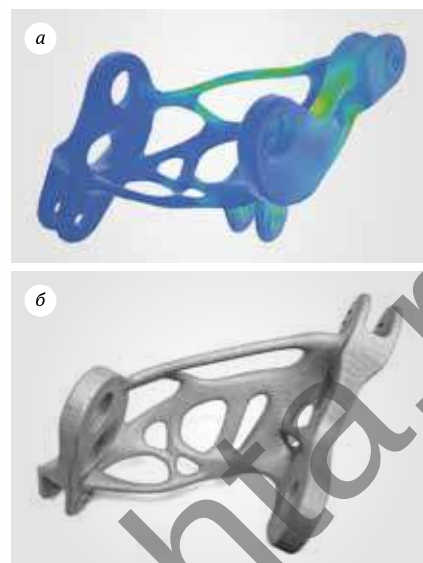


Рис. 8.
3D-модель детали с обозначенными напряжениями в критических точках (а) и напечатанная деталь авиационной техники (б)

авиационной детали гражданского назначения, которая изначально изготавливалась отливкой из алюминиевого сплава АК7. Сплав АК7 является среднепрочным силумином, который применяется в состоянии Т6 для обеспечения повышенных показателей прочности. Сплав PC-553 обладает пределом прочности, повышенным более чем на 50%. Используя результаты испытаний на растяжение и программный пакет 3D Experience фирмы Dassault Systemes, была проведена оптимизация формы детали с учетом действующих напряжений в критических точках. На рис. 8 представлена 3D-модель оптимизированной детали с распределенными напряжениями, а также напечатанный из сплава PC-553 прототип после отжига и удаления поддержек.

Испытания прототипа подтвердили его полную работоспособность при знакопеременных нагрузках, при этом снижение его веса на 32% значительно повышает удельные характеристики. Таким образом, применение новых алюминиевых сплавов открывает широкие перспективы по созданию производства инновационных деталей, которые в перспективе позволят получать с их помощью более совершенные изделия авиационной и космической техники.

Таблица 2. Типичные характеристики синтезированного материала марок PC-507 и PC-553

Сплав	Вид обработки	Направление	При растяжении			
			σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ_5 , МПа	E, ГПа
PC-553	Отжиг	XY	475	435	12,0	72
		Z	470	430	12,0	
PC-507	Отжиг	XY	430	320	12,0	70
		Z	425	330	14,0	

Выводы

Алюминиевые сплавы являются технологичным материалом для получения деталей с использованием различных аддитивных технологий, что обуславливается наличием систем легирования и составов, которые демонстрируют высокие эксплуатационные характеристики наряду с технологичностью при 3D-печати.

Технология селективного лазерного сплавления за счет быстрой кристаллизации при охлаждении переплавленного слоя порошка формирует мелкодисперсную литую структуру, которая обладает повышенными характеристиками прочности по сравнению с аналогами, полученными методами литья и пластической деформации. Наличие в структуре элементов-модификаторов может также привести к формированию недендритной структуры в треке, что обеспечивает как повышение характеристик прочности, так и повышение характеристик пластичности синтезированного материала.

Аддитивные технологии позволяют использовать для печати алюминиевые сплавы, которые нетехнологичны при традиционных способах производства. Их использование обеспечивает высокое качество получаемой структуры (отсутствие трещин и низкое количество пор) при существенно повышенных характеристиках прочности, жаропрочности и пр., что позволяет использовать их взамен как традиционных алюминиевых сплавов, так и других конструкционных материалов.

Использование новых алюминиевых сплавов и подходов к бионическому дизайну позволяет получать облегченные концепты деталей, которые демонстрируют снижение весовых характеристик до 40% при сохранении работоспособности.

Литература

1. Zhang Y., Wu L., Guo X. et al. Additive Manufacturing of Metallic Materials: A Review. *J. of Mater. Eng. and Perform.* 27, 1–13 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11665-017-2747-y>.
2. Frazier W. E. 2014 Metal additive manufacturing: a review *Journal of Materials Engineering and performance* 23 1917–1928.
3. Thomas Duda L., Venkat Raghavan. 3D Metal Printing Technology, IFAC-PapersOnLine, Volume 49, Issue 29, 2016, pp. 103–110.
4. Siebold M. (May 1, 2019). Additive Manufacturing for Serial Production of High-Performance Metal Parts. *ASME. Mechanical Engineering*. May 2019; 141(05): 49–50. <https://doi.org/10.1115/1.2019-MAY5>.
5. Электронный ресурс: <https://3dprintingindustry.com/news/audi-ramps-up-use-of-3d-printed-hot-form-tooling-at-ingolstadt-factory-186659/> Дата обращения 29.12.2021.
6. Sercombe T., Li Xiaopeng. (2016). Selective laser melting of aluminium and aluminium metal matrix composites: Review. *Materials Technology*. 31.
7. Martin J. H. et al. 3D printing of high-strength aluminium alloys // *Nature*. 2017. V. 549. P. 365.
8. Altiparmak S. C., Yardley V. A., Shi Z., Lin J. Challenges in additive manufacturing of high-strength aluminium alloys and current developments in hybrid additive manufacturing, *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 2021, v. 4, is. 2, pp. 246–261.
9. Zhang B., Li Y., Bai Q. Defect Formation Mechanisms in Selective Laser Melting: A Review. *Chin. J. Mech. Eng.* 30, 515–527 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10033-017-0121-5>.
10. Aboulkhair N. T., Everitt N. M., Ashcroft I., Tuck C. Reducing porosity in AlSi10Mg parts processed by selective laser melting, *Additive Manufacturing*, 2014, v. 1–4, pp. 77–86.
11. Tang M., Pistorius P. C., Narra S. et al. Rapid Solidification: Selective Laser Melting of AlSi10Mg. *JOM* 68, 960–966 (2016). <https://doi.org/10.1007/s11837-015-1763-3>.
12. Добаткин В. И., Елагин В. И., Федоров В. М. Быстрозакристаллизованные алюминиевые сплавы. М.: ВИЛС, 1995. 341 с.
13. Olakanmi E. O. Selective laser sintering/melting (SLS/SLM) of pure Al, Al–Mg, and Al–Si powders: effect of processing conditions and powder properties // *Journal of Materials Processing Technology*. 2013. V. 213. PP. 1387–1405.
14. Olakanmi E. O., Dalgarno K. W., Cochran R. F. Laser sintering of blended Al–Si powders. *Rapid Prototyping Journal*. 2012. V. 18. PP. 109–119.
15. Никитин К. В. Модифицирование и комплексная обработка силуминов: учеб. пособие / 2-е изд., перераб. и доп. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. 92 с.
16. Marquis E. A., Seidman D. N. Nanoscale structural evolution of Al3Sc precipitates in Al(Sc) alloys. *Acta Materialia*, 2001, v. 49, is. 11, pp. 1909–1919.
17. Zakharov V. V. Effect of Scandium on the Structure and Properties of Aluminum Alloys. *Metal Science and Heat Treatment* 45, 246–253 (2003). <https://doi.org/10.1023/A:1027368032062>.
18. Awd M., Tenkamp J., Hirtler M., Siddique S., Bambach M., Walther F. Comparison of Microstructure and Mechanical Properties of Scalmarloy® Produced by Selective Laser Melting and Laser Metal Deposition. *Materials*. 2018; 11(1):17. <https://doi.org/10.3390/ma11010017>.
19. Spierings A. B., Dawson K., Heeling T., Uggowitzer P. J., Schaublin R., Palm F., Wegener K. Microstructural features of Sc- and Zr-modified Al-Mg alloys processed by selective laser melting. *Mater. Des.*, 115 (2017), pp. 52–63.

Авторы

Рябов Дмитрий Константинович – директор по науке
ООО «Институт легких материалов и технологий»
(ОК РУСАЛ)

Грушин Иван Алексеевич – кандидат технических наук,
руководитель проекта ООО «Институт легких материалов
и технологий» (ОК РУСАЛ)

Сеферян Александр Гарегинович – кандидат химических
наук, руководитель проекта ООО «Институт легких
материалов и технологий» (ОК РУСАЛ)



МашЭкспо Сибирь

18+

МЕЖДУНАРОДНАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

29 МАРТА – 1 АПРЕЛЯ 2022

ОТРАСЛЕВОЕ СОБЫТИЕ СИБИРИ!



Более 70 производителей и поставщиков оборудования и материалов для металлообработки и сварки из России, Белоруссии, Германии, Италии, Швейцарии, Японии, Китая.



Здесь ведущие производители станков, сварочного оборудования встречаются с представителями крупных и средних промышленных предприятий.



Деловая программа посвящена актуальным проблемам машиностроения и передовым технологиям в сфере металлообработки.

MASHEXPO-SIBERIA.RU

ОРГАНИЗАТОР: ООО «СВК»

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:



СИБИРСКАЯ
ВЫСТАВОЧНАЯ
КОМПАНИЯ



НОВОСИБИРСК
ЭКСПО ЦЕНТР



Свойства пластика PETG после 3D-печати по технологии FFF

Часть 1

П. А. Петров, Д. Р. Агзамова, Н. С. Шмакова, В. А. Пустовалов,
Б. Ю. Сапрыкин, И. А. Чмутин, Е. Д. Жихарева

Рассмотрено влияние режима 3D-печати на комплекс механических, оптических и тепловых свойств термопластичного прозрачного полимерного материала PETG (полиэтилентерефталат-гликоль), обработанного по аддитивной технологии FFF (Fused Filament Fabrication). Показано наличие зависимости между коэффициентом пропускания света, толщиной образца и его ориентацией во время 3D-печати.

Ключевые слова:

термопластичный прозрачный пластик, PETG, аддитивная технология FFF, 3D-печать, механические свойства, тепловые свойства, оптические свойства, коэффициент пропускания света

УДК 621.74.045 | ВАК 05.16.09

DOI: 10.22184/2499-9407.2022.26.1.52.59

Введение

Рынок материалов для аддитивного производства, в частности методом экструзионной технологии (FDM / FFF) (fused deposition modeling – моделирование методом послойного наплавления) [1, 2] (рис. 1), активно

расширяется по мере развития технологии FFF и соответствующего оборудования, позволяя отвечать новым запросам потребителей, ориентированным на изготовление изделий с необходимыми эксплуатационными характеристиками.

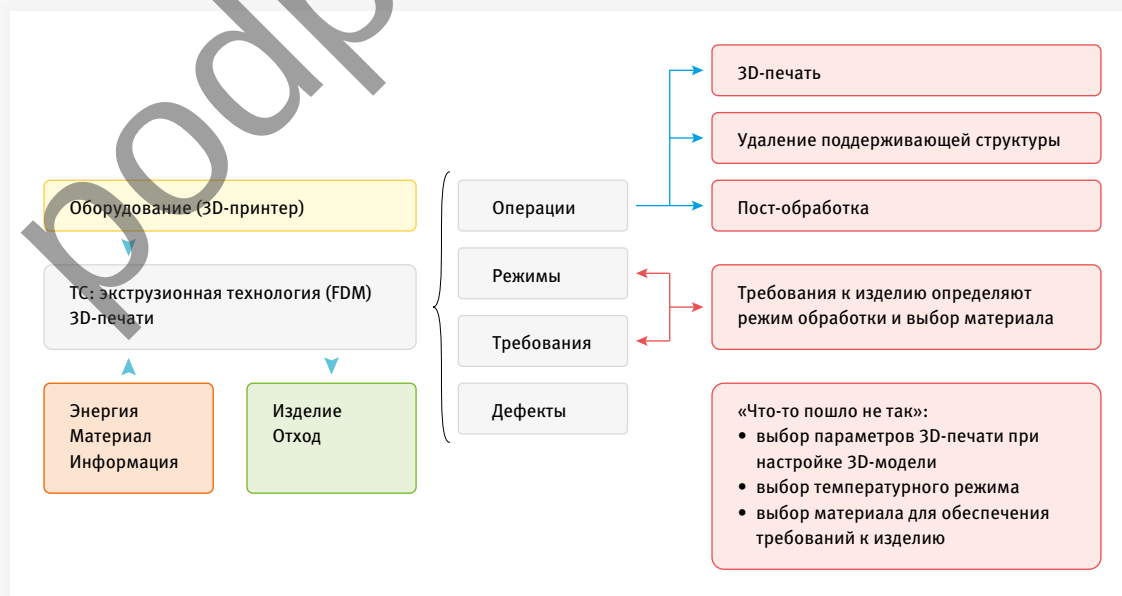


Рис. 1. Модель технологии экструзионной 3D-печати [3]

Одним из относительно новых перспективных материалов для экструзионной технологии 3D-печати является полиэтилентерефталат-гликоль (ПЭТГ, международное обозначение – PETG), представляющий собой модификацию полиэтилентерефталата (ПЭТФ, ПЭТ) на стадии синтеза добавлением гликоля. PETG характеризуется уникальным комплексом тепловых, механических, оптических, электрических и других эксплуатационных свойств.

Попытки перейти от 3D-печати прототипов к 3D-печати функциональных изделий, работающих в различных областях промышленности, выявили следующую проблему: если изделия, изготовленные из листов PETG термомоформованием или прессованием обладают всеми указанными выше свойствами, то характеристики деталей, изготовленных по технологии FDM/FFF, могут в ряде случаев существенно измениться в худшую сторону, причем неконтролируемо.

Связано это с тем, что структура, а следовательно, и свойства изделий, изготовленных по рассматриваемой аддитивной технологии, отличаются от изготовленных традиционными методами по следующим причинам:

- «пористость», обусловленная выбранным способом укладки нити во время 3D-печати по технологии FDM/FFF и комбинацией параметров процесса, характеризующих состояние материала в процессе обработки;
- рельеф внешней поверхности (шероховатость, измеряемая в мкм) полученного изделия, который в зависимости от выбранных параметров 3D-печати и особенностей материала может отличаться на порядок величины;
- надмолекулярная структура полимера, формируемая в процессе его обработки на 3D-принтере.

Влияние каждого из этих факторов на свойство изделия, напечатанного из PETG, в настоящее время малоисследовано. Основное внимание в некоторых известных исследованиях [4, 5, 6, 7, 8] уделено изучению влияния ориентации образца во время 3D-печати, степени заполнения, стиля заполнения сечения образца, последующей после 3D-печати термической обработки, а также параметров 3D-печати на механические свойства получаемого изделия. Степень заполнения сечения образца влияет на его сплошность, а следовательно, на остаточную пористость – формируются поры вследствие не 100%-ного заполнения сечения изделия материалом.

При 100%-ном заполнении величина остаточной пористости минимальна либо отсутствует [9] в зависимости от выбора настроек 3D-печати при преобразовании геометрической трехмерной модели изделия в формат G-code, теплофизических и термомеханических свойств материала нити. Форма пор и процесс их формирования при экструзионной технологии аддитивного производства, при условии 100%-ного заполнения, представлен на рис. 2 и 3.

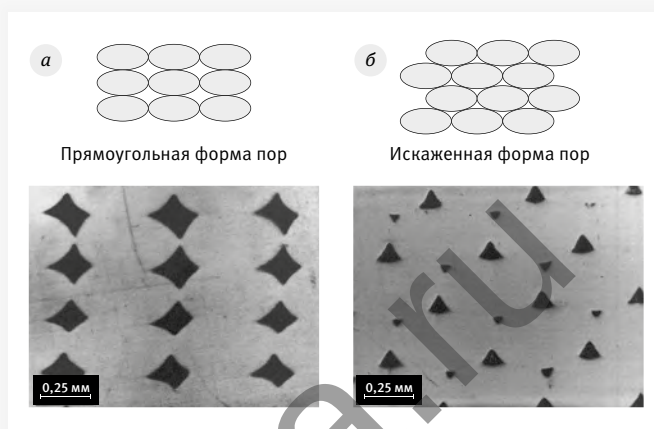


Рис. 2. Характерная форма пор при 100%-ном заполнении сечения в процессе экструзионной технологии 3D-печати [9]

При 100%-ном заполнении важными параметрами являются площадь контакта между двумя соседними нитями и минимальное число пор, так как они влияют на прочность изделия, полученного методом 3D-печати. Перекрывание между соседними нитями приводит к минимизации количества пустот (рис. 2б).

На молекулярном уровне для получения прочной детали необходимо обеспечить хорошую химическую или физическую связь между полимерными цепочками внутри соседних нитей (рис. 3). Образование шейки между соседними нитями (см. рис. 3б) обусловлено поверхностным натяжением и распределением тепловой энергии в контактирующих нитях после их выкладки в текущий слой. Формирование шейки связано со значением вязкости материала нити. В процессе формирования шейки происходит диффузия

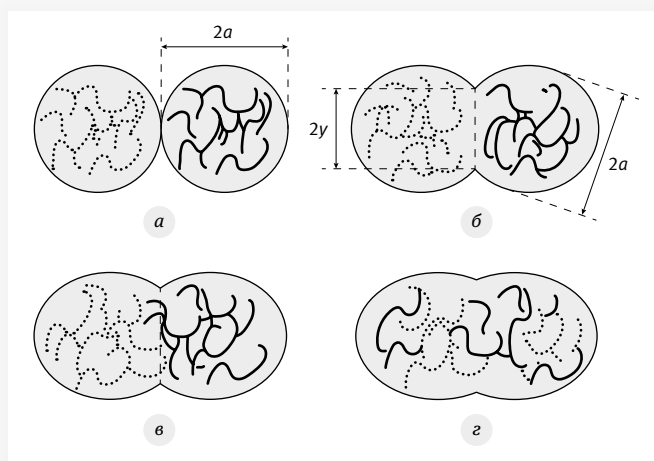


Рис. 3. Формирование поры при экструзионной технологии 3D-печати [9]: а – расположение двух соседних нитей; б – формирование шейки; в – диффузия и увеличение шейки; г – слияние двух нитей

полимерных цепочек (см. рис. 3в), при этом температура материала в формирующемся слое уменьшается, а вязкость – повышается [9]. Следствием этого является замедление процесса формирования шейки, зависящего от значения вязкости (текущей температуры), теплопроводности и теплоемкости материала, а также скорости охлаждения. Скорость охлаждения зависит от внутренних и внешних тепловых условий экструзионной 3D-печати.

Увеличение температуры приводит к более благоприятным условиям течения расплавленного полимерного материала, экструдированного сквозь сопло печатающей головки 3D-принтера, способствуя сплавлению двух соседних нитей и управлению механическими и оптическими свойствами изготавливаемого изделия. Аналогичным образом сказывается влияние теплопроводности. Предел повышения температуры определяется началом деградации полимерного материала [9].

В связи с вышеизложенным, цель данной работы – проведение комплекса исследований лабораторных образцов из прозрачного пластика PETG, направленных на определение режимов его обработки по технологии FFF и достижение высоких значений механических и оптических свойств материала.

В данной статье приведено решение нескольких задач:

1. исследование механических свойств прозрачного пластика PETG с учетом ориентации образца при 3D-печати;

2. исследование тепловых свойств прозрачного пластика PETG;
3. исследование оптических свойств (коэффициент пропускания света, T) прозрачного пластика PETG с учетом ориентации образца при 3D-печати и толщины изделий.

Методика проведения исследований и характеристика материала образцов

Проведенный комплекс исследований лабораторных образцов прозрачного пластика PETG включает выполнение испытаний по трем методикам:

1. испытание на растяжение (ГОСТ 11262-2017 и ГОСТ 33693-2015 (ISO 20753:2008));
2. испытания по определению тепловых свойств материала методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК);
3. испытания по определению оптических свойств (коэффициент пропускания света) методом спектрофотометрии.

Определение механических свойств (предел прочности; относительное удлинение) выполнено методом растяжения образцов, изготовленных по экструзионной технологии 3D-печати на 3D-принтере Anycubic 4 Max Pro. Форма и размеры образцов (тип A12, ГОСТ 11262-2017 и ГОСТ 33693-2015) представлены на рис. 4 и в табл. 1.

Испытания на растяжение проводились на универсальной испытательной установке Tinius Olsen 50ST двухколонного типа с максимальной нагрузкой 50 кН (5000 кгс). До начала испытаний замерялось при помощи штангенциркуля поперечное сечение каждого образца исследуемого материала; после установки и закрепления каждого образца в захваты испытательной установки – расстояние между захватами; в процессе проведения испытаний регистрировали текущее значение силы растяжения и величину перемещения активного захвата испытательной

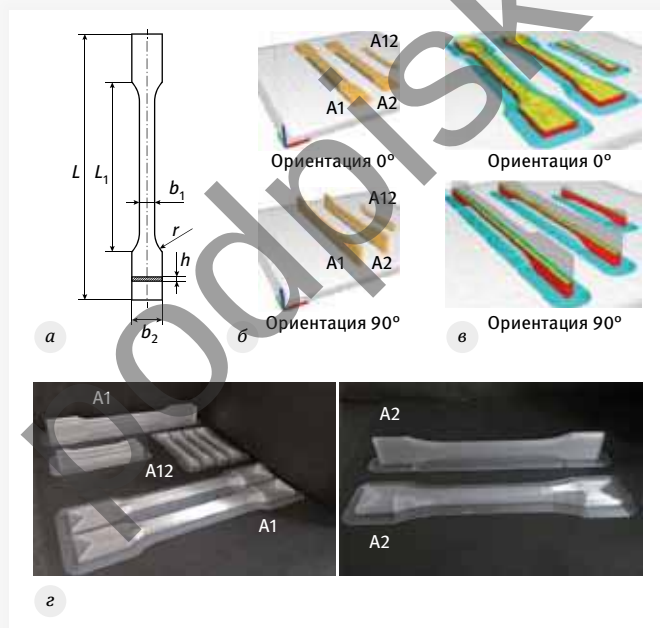


Рис. 4. Образцы тип A12 для испытания на растяжение: а – форма образца A12; б – расположение образца на рабочей платформе 3D-принтера; в – заполнение сечения образца – 100% стилем concentric; г – образцы A12 после 3D-печати

Таблица 1. Размеры образца для испытания на растяжение

Параметр	Значение
Образец для испытания на одноосное растяжение	Тип A12
Общая длина, L , мм	75,0
Расстояние между широкими частями с параллельными сторонами, L_1 , мм	58,0
Ширина головки, b_2 , мм	10,0
Ширина узкой (рабочей) части, b_1 , мм	5,0
Толщина, h , мм	2,4
Радиус закругления, r , мм	30,0

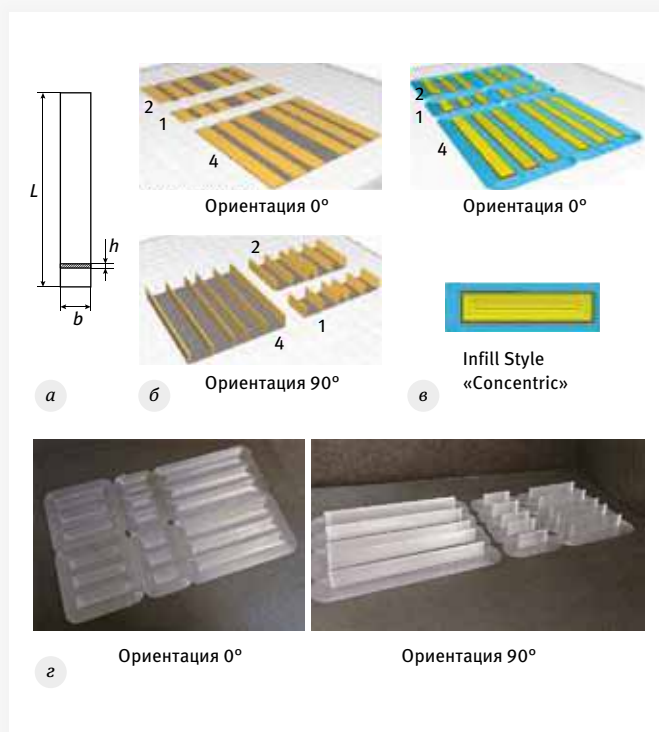


Рис. 5. Образцы для определения оптических свойств:

а – форма образца; б – расположение образца на рабочей платформе 3D-принтера; в – заполнение сечения образца – 100% стилем concentric; г – образцы после 3D-печати

установки. В результате автоматической обработки данных об испытании определялись значения предела прочности и относительное удлинение.

Определение оптических свойств (коэффициент пропускания света при длине волны 650 нм) выполнено методом спектрофотометрии для образцов, изготовленных по экструзионной технологии 3D-печати на 3D-принтере Anycubic 4 Max Pro. Форма и размеры образцов (оригинальные образцы) представлены на рис. 5 и в табл. 2.

Измерение оптических свойств образцов PETG проводилось с использованием спектрофотометра СФ-2000. Перед началом испытания у каждого образца измерялись геометрические параметры. Набор из шести образцов PETG одного типа, имеющих разную толщину, одновременно устанавливался в отдельные спектрофотометрические кюветы (рис. 6), после чего проводилось измерение оптических свойств этих образцов в ходе единого эксперимента. Измерялся коэффициент пропускания света (Т) в диапазоне длин волн 300–1100 нм. Для последующего анализа использовалось значение Т на длине волны 650 нм.

Определение тепловых свойств выполнено методом ДСК для образцов исходного материала. Испытания по определению тепловых свойств проводились на оборудовании компании Mettler Toledo. Режим проведения испытаний:

Таблица 2. Размеры образца для испытания оптических свойств

Параметр	Значение	
Образец для испытания оптических свойств (пропускная способность)	Тип MF2	Тип MF4
Масштабный коэффициент	2	4
Длина образца, L, мм	34,0	68,0
Ширина образца, b, мм	8,0	
Толщина образца, h, мм	0,4; 0,6; 0,7; 0,8; 1,0; 1,2	

нагрев в диапазоне 0–350 °С со скоростью 20 К/мин в среде N₂. В результате проведения испытания получают термограммы, позволяющие оценить значения характеристических температур (температура стеклования, температура кристаллизации, температура деструкции, температура плавления) и значение степени кристалличности. В данной статье определялась температура стеклования и температура начала кристаллизации.

Образцы исследуемого полимерного материала тип PETG, представленные на рис. 4–6, изготовлены из типовых нитей для 3D-печати, отличающихся друг от друга композиционным составом. Всего исследовано десять композиций прозрачного полимерного материала с условным обозначением ПЕТГ-1...ПЕТГ-10. В табл. 3 представлено описание параметров, характеризующих режим печати образцов для испытания на растяжение и для испытания оптических свойств.

Результаты исследования тепловых свойств

Тепловые свойства композиций полимерного пластика, относящегося к типу PETG, определены по результатам



Рис. 6. Образцы для определения оптических свойств после установки в ячейки

Таблица 3. Параметры 3D-печати образцов

Параметр	Образец для испытания на одноосное растяжение	Образец для испытания оптических свойств (пропускная способность)
Тип образца	A12	MF2, MF4
Температура сопла, °C	215	215
Температура рабочего стола, °C	70	70
Диаметр сопла, мм	0,4	0,4
Ширина линии, мм	0,4	0,4
Толщина слоя, мм	0,1	0,1
Толщина стенки (оболочки), мм	0,8	0,8
Обдув	100%	100%
Ретракт	Да	Да
Плотность заполнения, %	100	100
Стиль заполнения	Concentric	Concentric
Поддержки	Только для угла ориентации 90°	Нет

ДСК-анализа. На рис. 7 представлена типовая термограмма одной из десяти исследованных композиций – пластика ПЕТГ-8. На термограмме выделяются три кривые, каждая из которых соответствует одному процессу: первый нагрев (черная линия), охлаждение (синяя линия), второй нагрев (красная линия). Образцы пластика для данного исследования вырезали из нити для 3D-печати, которая рассматривалась как исходный материал для последующей 3D-печати образцов для испытаний механических и оптических свойств.

Таким образом, первый нагрев при проведении ДСК-анализа соответствует нагреву нити в печатающей головке экструзионного 3D-принтера. По результатам для первого нагрева, представленным на термограмме, определяется значение характеристической температуры – температуры стеклования (среднее значение), а также температуры начала тепловых процессов (предположительно кристаллизация; требуются дополнительные исследования, например ИК-спектроскопия).

Пластик ПЕТГ-8 характеризуется повышенной температурой, при которой начинается тепловой процесс (предположительно, кристаллизация) – 215,0 °C; средняя температура стеклования составляет 72,47 °C. При первом нагреве

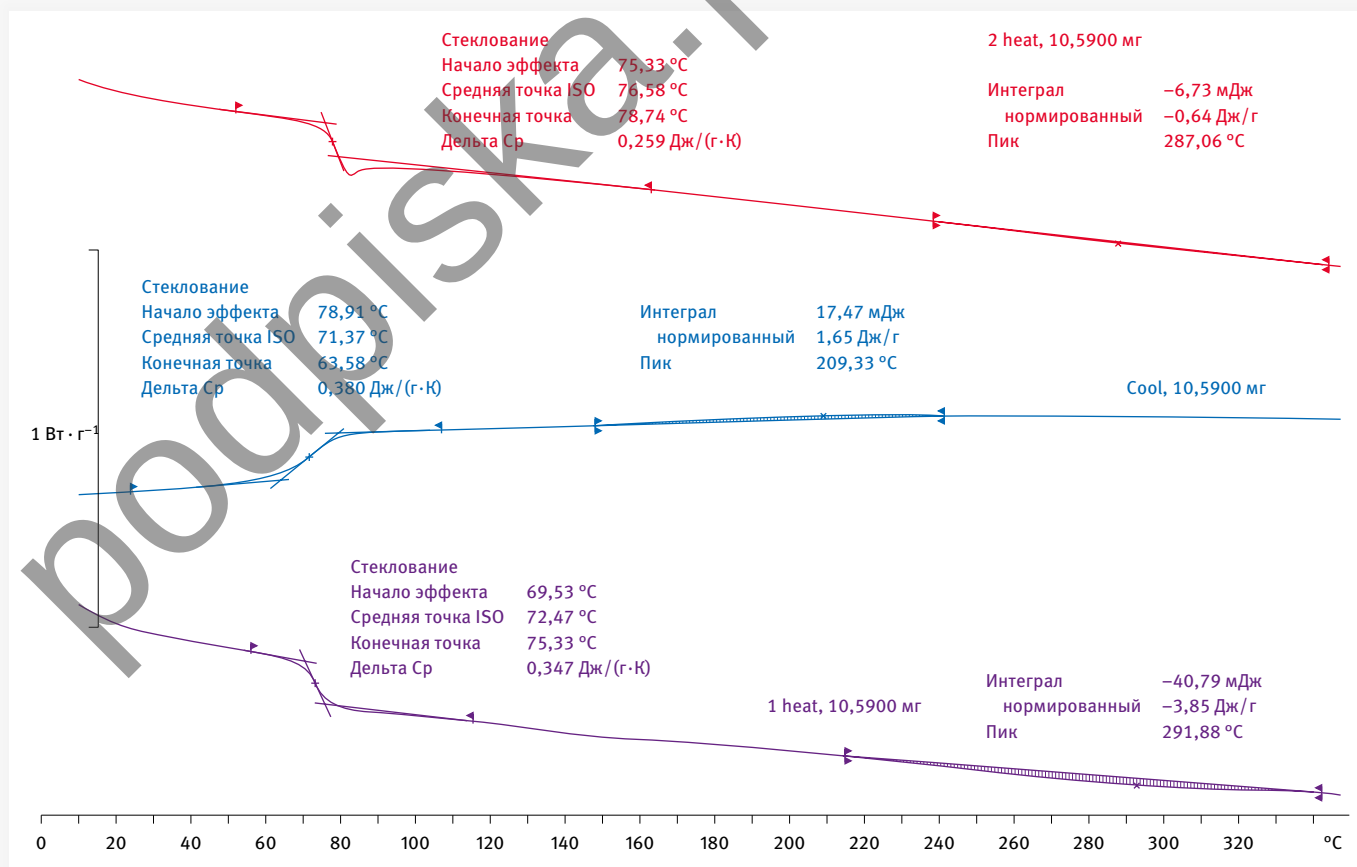


Рис. 7. Термограмма полимерного пластика композиции ПЕТГ-8

Таблица 4. Температурные, оптические и механические характеристики различных композиций пластика

Параметр		ПЕТГ-6	ПЕТГ-2	ПЕТГ-3	ПЕТГ-8	ПЕТГ-9	ПЕТГ-7	ПЕТГ-5	ПЕТГ-10	ПЕТГ-4	ПЕТГ-1
Температура стеклования (средняя), °C		67,06	71,26	71,51	72,47	72,75	73,98	74,12	74,57	75,3	76,68
Температура начала теплового процесса (предполагаемой кристаллизации), °C		193	127	195	215	260	240	213	192	219	220
Коэффициент пропускания света при толщине слоя 0,6 мм	Ориентация 0°	27,26	20,75	21,29	13,54	19,23	20,13	21,00	17,81	14,44	25,82
	Ориентация 90°	8,66	9,90	11,13	7,26	10,27	7,51	7,59	8,81	12,48	9,66
Коэффициент пропускания света при толщине слоя 1,2 мм	Ориентация 0°	10,59	11,29	13,75	9,36	12,57	7,58	10,30	15,88	9,45	8,02
	Ориентация 90°	2,46	5,68	7,10	2,34	4,33	4,28	2,38	4,64	4,01	1,01
Предел прочности, МПа	Ориентация 0°	62,03	52,85	51,67	64,77	61,77	56,50	59,80	52,50	53,60	58,47
	Ориентация 90°	52,27	58,55	49,00	65,70	56,33	55,00	54,73	57,37	57,67	0,00
Относительное удлинение, %	Ориентация 0°	5,28	0,00	7,47	5,34	5,29	6,15	6,10	6,68	4,57	4,82
	Ориентация 90°	5,10	5,10	8,54	5,65	5,21	5,39	5,56	5,07	5,44	0,00

не прослеживается пик энthalпии релаксации, который обычно перекрывает стеклование.

В табл. 4 представлены значения средней температуры стеклования и температуры начала экзотермического теплового процесса. На рис. 8 представлена зависимость температуры начала теплового процесса от средней температуры стеклования, которая для каждой из исследуемых композиций имеет свое значение. В целом, повышение температуры стеклования приводит к смещению температуры начала теплового процесса в область повышенных температур. Однако для композиций ПЕТГ-2, ПЕТГ-5 и ПЕТГ-9 эта закономерность нарушается: температура начала экзотермического теплового процесса составляет, соответственно, 127, 240 и 260 °C. Далее, проводилась оценка уровня механических и оптических свойств данных материалов.

Результаты сравнения температур начала теплового процесса, представленные на рис. 8, имеют очень большой разброс для анализируемых композиций пластика. Максимальная температура стеклования – 76,68 °C – наблюдается для композиции ПЕТГ-1 (рис. 9а).

При этом температура начала теплового процесса для ПЕТГ-1 – 200 °C (рис. 9б), а пик теплового процесса более широкий (рис. 10) в сравнении с композицией ПЕТГ-8 – наблюдается ярко выраженный пик энthalпии релаксации. Удельная теплоемкость (c_p) композиции ПЕТГ-1 отличается от c_p ПЕТГ-8 на 7,5% (см. рис. 7 и 10). Второе отличие между термограммами – величина пика энthalпии релаксации. Для ПЕТГ-8 пик практически отсутствует. Это может говорить о том, что в исходной композиции ПЕТГ-8 до первого нагрева содержание аморфного материала крайне низкое. И, наоборот,

композиция ПЕТГ-1 в исходном состоянии имеет более аморфное строение.

В табл. 5 представлены данные об удельной теплоемкости исследуемых композиций, соответствующие первому нагреву. В данной статье вопрос о втором нагреве не рассматривается.

В сравнении с ПЕТГ-8, композиция ПЕТГ-9 также не имеет пика энthalпии релаксации; удельная теплоемкость порядка 0,347 Дж/(г·К), но характеризуется более высокой

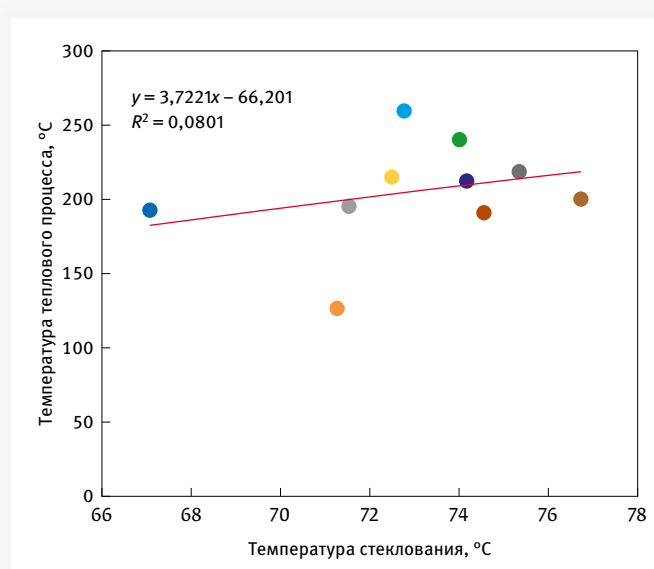


Рис. 8. Влияние температуры стеклования на начало теплового процесса при первом нагреве

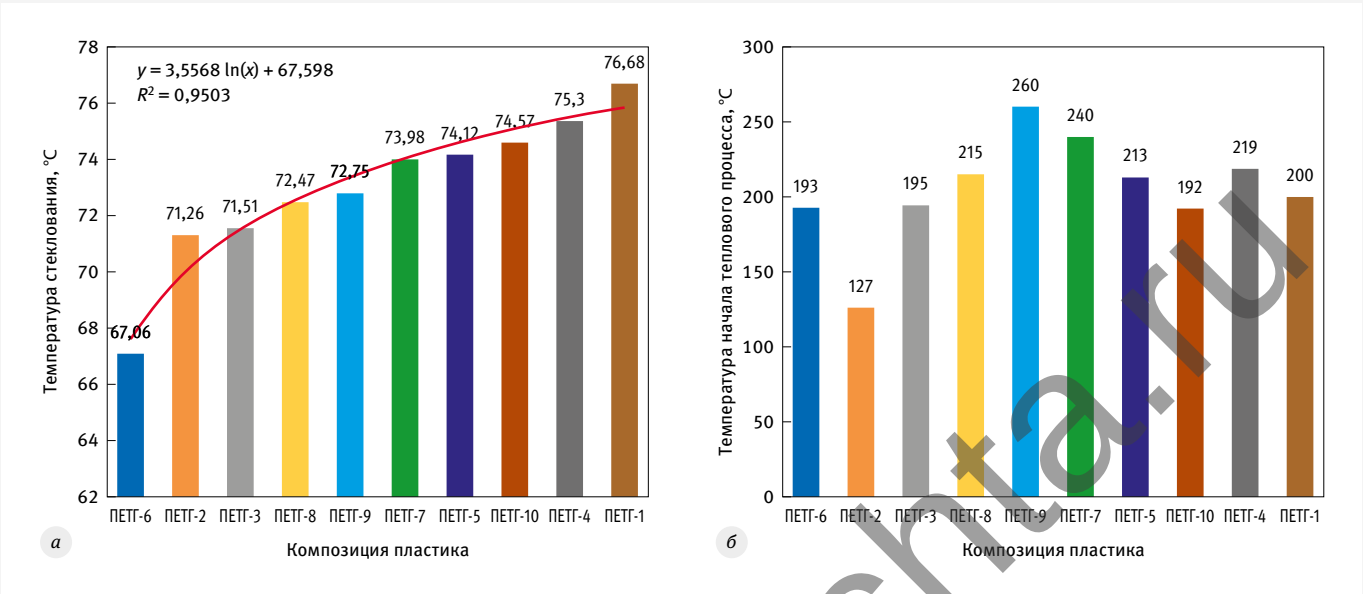


Рис. 9. Влияние температуры стеклования (а) на температуру начала теплового процесса (б) при первом нагреве

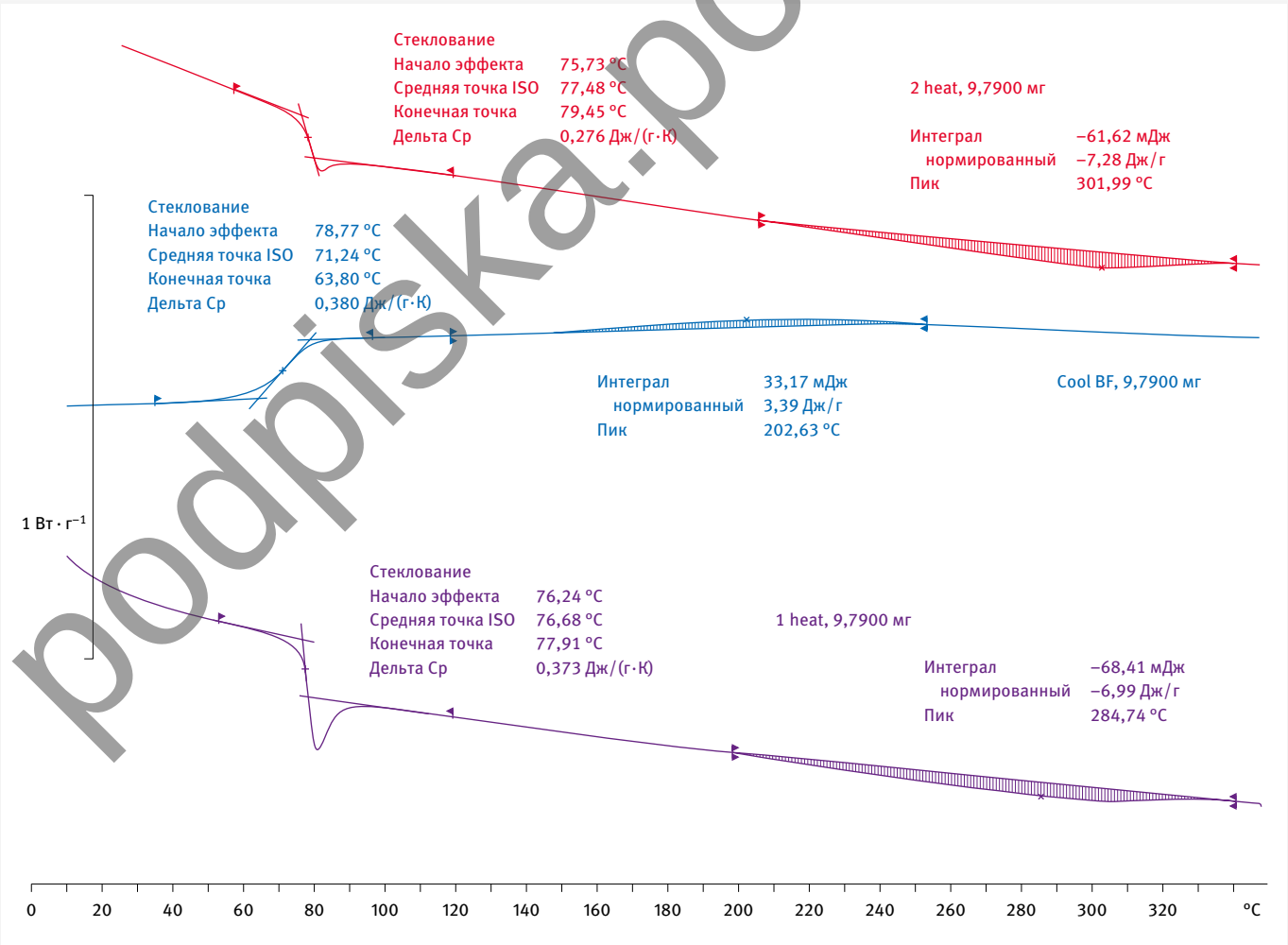


Рис. 10. Термограмма полимерного пластика композиции ПЕТГ-1

Таблица 5. Значения удельной теплоемкости по результатам ДСК-анализа

Номер композиции	Температура стеклования (средняя), °C	Температура начала теплового процесса (предполагаемой кристаллизации), °C	Удельная теплоемкость (по первому нагреву), Дж / (г · К)
ПЕТГ-6	67,06	193	0,353
ПЕТГ-2	71,26	127	0,319
ПЕТГ-3	71,51	195	0,320
ПЕТГ-8	72,47	215	0,347
ПЕТГ-9	72,75	260	0,367
ПЕТГ-7	73,98	240	0,343
ПЕТГ-5	74,12	213	0,359
ПЕТГ-10	74,57	192	0,315
ПЕТГ-4	75,30	219	0,351
ПЕТГ-1	76,68	200	0,373

температурой начала теплового процесса – 260 °C. Ширина пика теплового процесса у композиции ПЕТГ-9 примерно в два раза меньше.

Литература

1. **Dhinakaran V., Manoj Kumarn K.P., Bupathi Ram P.M., Ravichandran M., Vinayagamoorthy M.** A review on recent advancements in fused deposition modeling, *MaterialsToday: Proceedings*, 2020, Volume 27, Part 2, 752–756.
2. **Gao X., Qi, S. Kuang X., Su Yu Li J., Wang D.** Fused filament fabrication of polymer materials: A review of interlayer bond. *Additive Manufacturing*, Available online 10 October 2020, 101658 In Press. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101658>.
3. **Петров П.А., Бронин М.С., Сапрыкин Б.Ю., Долгов М.С.** 3D печать низкотемпературным пластиком // *Аддитивные технологии*. 2022. № 1. С. 16–19.
4. **Maloch J., Hnátková E., Žaludek M., Krátký P.** Effect of processing parameters on mechanical properties of 3D printed samples. In *Materials Science Forum*. 2018. Vol. 919. PP. 230–235. Trans Tech Publications
5. **Oliveira de Miranda M.F., Ribeiro F.J.O. Saad, Núbia dos Santos Guarato A.Z.** Experimental analysis on the mechanical properties of PETG parts made with fused deposition modeling manufacturing. 25th ABCM International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2019) October 20–25, 2019. <https://doi.org/10.26678/ABCM.COBEM2019.COB2019-1931>.
6. **Szykiedans K., Credo W., Osiński D.** Selected mechanical properties of PETG 3-D prints, *Procedia Engineering*, 2017, 177, 455–461.
7. **Sathish K., Soundararajan R., Shanthosh G., Saravanakumar P., Ratteesh M.** Augmenting effect of infill density and annealing on mechanical properties of PETG and CFPETG composites fabricated by FDM // November 2020 *Materials Today: Proceedings* (в печати)
8. **Kaushal Sharma.** Effect of FFF Process Parameters on Density and Mechanical Properties of PETG and Carbon Fiber Reinforced PETG Composites. Master Thesis, 2021. 134 p.
9. **Blok L. G., Longana M. L., Yu H., Woods B. K.S.** An investigation into 3D printing of fibre reinforced thermoplastic composites // *Additive Manufacturing*. 2018. Vol. 22. PP. 176–186.
10. **Lepoivre A., Boyard N., Levy A., Sobotka V.** Heat Transfer and Adhesion Study for the FFF Additive Manufacturing Process // *Procedia Manufacturing*. 2020. Vol. 47. PP. 948–955, ISSN 2351-9789, <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.291>.

Авторы

- Петров Павел Александрович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой Московского политехнического университета
- Агзамова Диана Расимовна** – магистрант Московского политехнического университета
- Шмакова Наталья Сергеевна** – руководитель Технологического центра коллективного пользования АО «Технопарк Слава»
- Пустовалов Владимир Андреевич** – магистрант Московского политехнического университета
- Сапрыкин Борис Юрьевич** – старший преподаватель Московского политехнического университета
- Чмутин Игорь Анатольевич** – доцент Центра проектной деятельности Московского политехнического университета
- Жихарева Елена Дмитриевна** – старший преподаватель Центра проектной деятельности Московского политехнического университета

Управление точностью металлорежущих станков. Структурно-параметрические методы

Часть 1

А. П. Кузнецов

Обоснована классификация моделей точности металлорежущих станков на три группы, характеризующиеся количеством и видом входящих составляющих, а также достигаемым результатом. Предложена схема выбора системы снижения, коррекции, компенсации и управления точностью станка, с учетом двух классов систем управления точностью.

Ключевые слова:

точность станка и детали, информационный и технологический образ изделия, система управления точностью станка

УДК 539.232 | ВАК 05.02.07

DOI: 10.22184/2499-9407.2022.26.1.60.67

«Геометрия есть знание величин, фигур и их границ, а также отношений между ними и производимых над ними операций, разнообразных положений и движений, она начинается с неделимой точки, завершает объемными фигурами и исследованием многообразных различий между ними...»

Прокл

В настоящее время применение методов управления погрешностями станка является широко распространенным способом, используемым для повышения его точности. В предыдущие годы ошибки станка сводились к минимуму за счет повышения точности деталей станка и технологии его сборки, а также частично путем использования свойства и модели оценок конструктивных вариантов при проектировании станков, что имеет ограничения, обусловленные существующими и современными методами проектирования. Достигнутый уровень точности был обусловлен улучшением геометрии, качества поверхности и взаимного расположения составных частей станка.

Однако практическая реализация этого направления в основном ограничена и связана с физическим пределом

повышения точности обработки. Принципиально можно добиться дальнейшего повышения точности обработки деталей, механизмов и узлов станка, однако это приведет к резкому увеличению затрат. Поэтому для повышения точности станков становятся все более привлекательными исследования методов управления или компенсации ошибок. Это также обуславливается тем, что стало возможным применение «не механических» средств, систем и иных цифровых инструментов для реализации принципов и методов управления станками, их деталями, узлами, механизмами, системами и устройствами.

На рис. 1 приведена обобщенная принципиальная схема изменения точности металлорежущего станка, построенная исходя из его функционального назначения – обеспечение

требуемого или идеального взаимного относительного движения инструмента и заготовки, являющихся конечными звеньями в цепи формообразования поверхностей обрабатываемых на станке деталей, формирования их размеров, свойств и характеристик.

В этом и состоит принципиальное понятийное сходство и отличие от точности металлорежущего станка и обрабатываемой на станке детали. В этом также заключается различие подходов к понятию «точность» у потребителей и производителей станков. Задача состоит в том, чтобы найти, обосновать и определить соответствие показателей, параметров и характеристик станка как процесс их отображения (или преобразования) в требуемые параметры, характеристики и свойства получаемых на станке деталей. Этот факт также обуславливается тем, что требования к параметрам, характеристикам и свойствам деталей объективно определены стандартами ИСО серии 14660 и 1101, часть из которых адаптирована и принята в РФ:

- ГОСТ 31254-2004 (ИСО 14660-1:1999, ИСО 14660-2:1999) «Основные нормы взаимозаменяемости. Геометрические элементы. Общие термины и определения»;
- ГОСТ Р 53442-2015 (ИСО 1101:2012) «Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Установление геометрических допусков. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения».

В то же время показатели, параметры и характеристики станка и его точности определены стандартами ИСО серии 230, часть из которых адаптирована и принята в РФ: ГОСТ ISO 230-1-2018 «Нормы и правила испытания станков. Часть 1. Геометрическая точность станков, работающих на холостом ходу или в квазистатических условиях».

Базируясь на таких представлениях точности станка, принят стандарт по некоторым видам коррекции геометрических погрешностей станка – ГОСТ ISO / TR 16907-2017 «Станки металлорежущие. Коррекция геометрических погрешностей с помощью ЧПУ».

Необходимо обратить внимание на некоторое расхождение терминов в международном стандарте ISO / TR 16907-2017 “Machine tools – Numerical compensation of geometric errors” и его адаптированном изложении на русском языке. В оригинале использован термин compensation, что должно быть переведено как «компенсация», а не «коррекция», к тому же термин Numerical compensation имеет более широкое толкование, чем только ЧПУ, соответствующее CNC – цифровое или числовое программное управление. Поэтому ниже приведены термины, которые будут использованы в данной статье (см. рис. 1):

- **снижение** (reduce или decrease) параметров и характеристик точности станка – совокупность операций или действий, направленных на уменьшение или снижение влияния величины, значений параметров и протекания свойств объекта при помощи систем или устройств;
- **коррекция** (correction, поправка, исправление) параметров и характеристик точности станка – совокупность операций или действий, направленных на изменение или поправку величины, значений параметров протекания свойств объекта при помощи устройств с легко изменяемыми параметрами и характеристиками;
- **компенсация** (compensation, возмещение) параметров и характеристик точности станка – совокупность

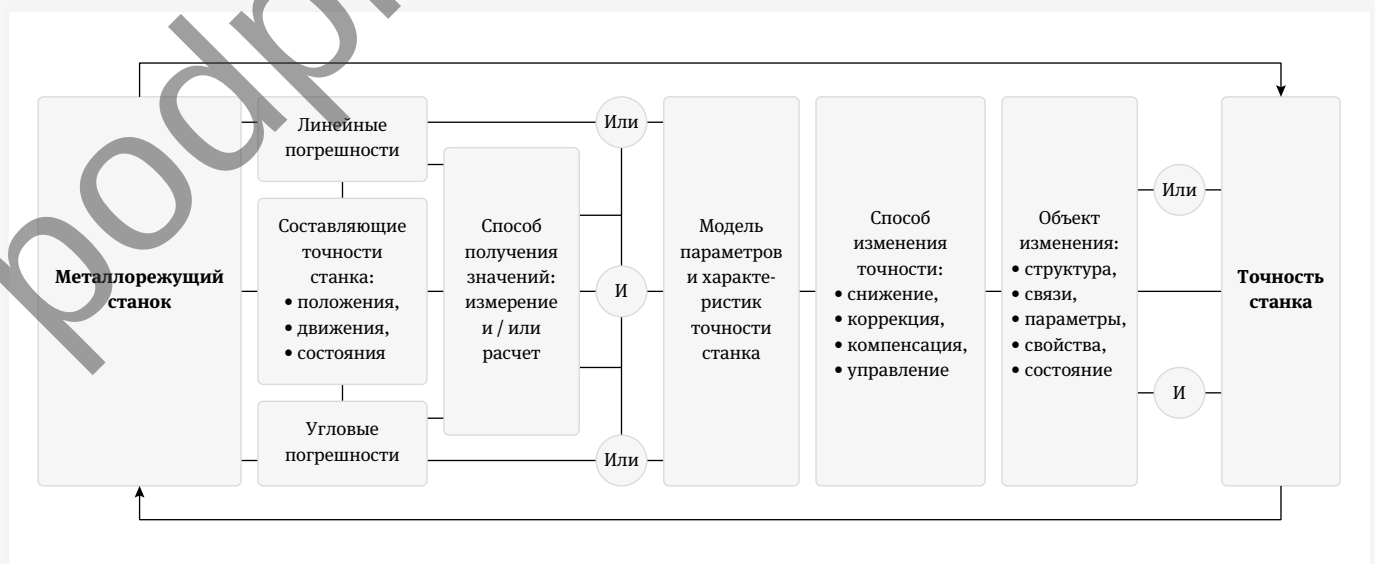


Рис. 1. Схема управления точностью металлорежущего станка

операций или действий, направленных на восстановление, возмещение изменений свойств объекта непосредственно или косвенно;

- **управление** (control) параметрами и характеристиками точности станка – совокупность операций или действий, обеспечивающих автоматическое воздействие на объекты для формирования у них заданных параметров, характеристик и свойств.

Непосредственная оценка характеристик точности станка дает возможность проводить качественное и количественное определение влияния различных конструктивных, технологических и иных факторов на точность обрабатываемых изделий и создает все необходимые предпосылки для разработки средств и методов управления рассматриваемыми свойствами точности станка при проектировании, изготовлении и эксплуатации. Однако эта оценка точности станка не может гарантировать стабильную точность обработки в определенном диапазоне даже на станках, выпускаемых одним заводом.

Очевидно, что само понятие «точность» и его содержание в этом случае расходятся и требуют создания моделей соответствия. На рис. 2 схематически проиллюстрирован принцип создания концепции и методического подхода для достижения обоснованного решения и создания методов достижения соответствия между точностью станка и обработанной детали, а различные аспекты таких решений отражены в работах [1–6].

Технологический процесс считается завершенным тогда и только тогда, когда достигается равенство информации, заключенной в материальном объекте (изделии), и информации, заданной в виде чертежа изделия, – **информационной модели** материального объекта [4]. Не соответствие (отклонение) информации, заключенной в материальном объекте, о свойствах этого объекта, аналогичной информации о свойствах объекта, заключенной в чертеже изделия, характеризует качество технологического процесса. Информация о геометрических параметрах, форме, структуре и свойствах изделия, заключенная в его чертеже, является **информационным образом** изделия. Информация о последовательности преобразования материи, энергии и информации, заключенная в документах, определяющих модель достижения равенства информации материального объекта (изделия) и его информационного образа – **технологический образ** изделия.

Информационный образ изделия можно представить состоящим из множества единичных информационных образов, характеризующих минимальной однородностью качественной и количественной информации и способом ее преобразования. Тогда технологический образ изделия также может быть представлен состоящим из множества единичных технологических образов.

Следовательно, интегральным выходным параметром технологической системы является изделие, свойства которого характеризуют ее качество.

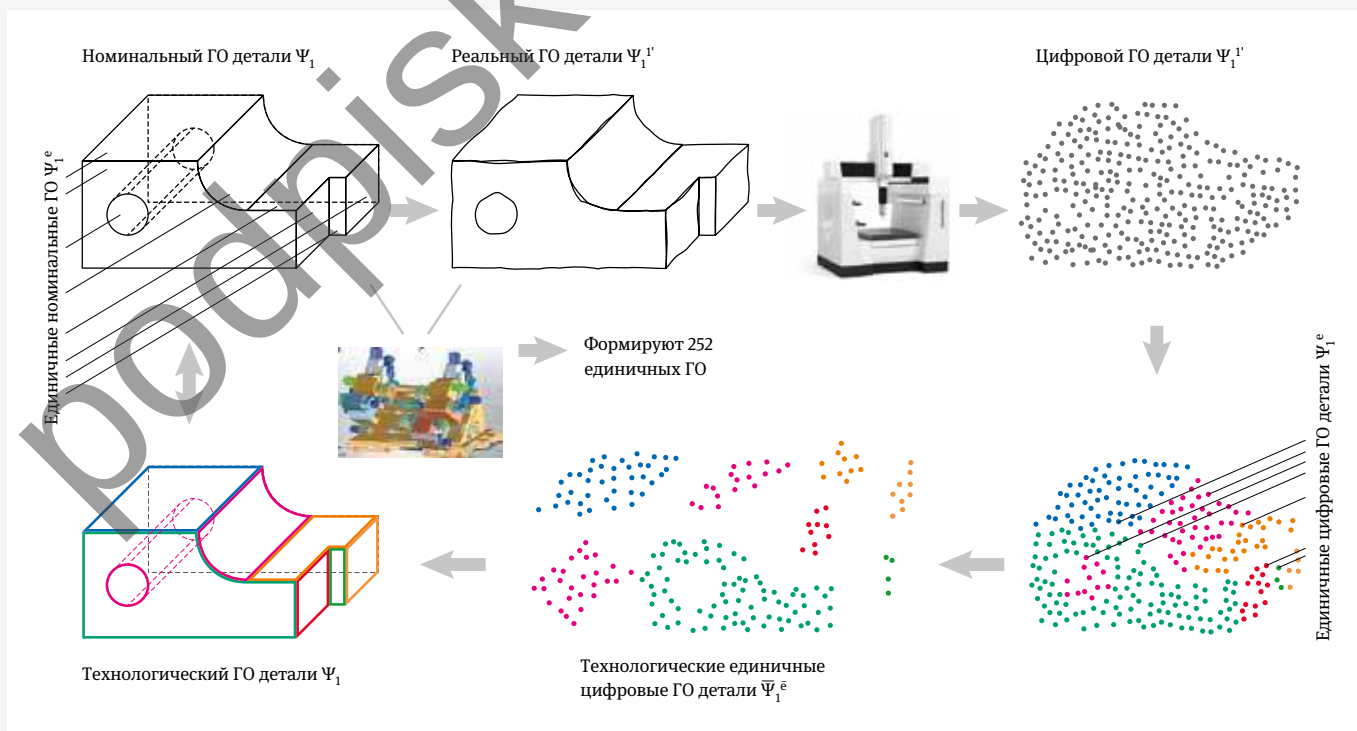


Рис. 2. Концепция достижения соответствия между точностью станка и обработанной детали

Металлорежущий станок, объединяющий в себе все элементы технологической системы и обеспечивающий их последовательное и взаимосвязанное функционирование для получения изделия, в течение всего периода выполнения заданного технологического процесса является единственным элементом технологической системы, который полностью формирует геометрический образ (ГО) изделия [2–6].

Поэтому интегральным выходным параметром металлорежущего станка целесообразно считать ГО, по свойствам которого можно судить о его качестве (рис. 2).

Свойства геометрического образа есть признак «понятный», дающий представление о различных его сторонах и определяющий совокупность присущих ему качеств (например, размер, форма и т.п.). Различные свойства геометрического образа могут быть выражены количественно. Несоответствие количественного выражения, рассматриваемого свойства, его заданному (номинальному) значению, то есть информационному образу, характеризует вид, характер и величину отклонения данного свойства. Степень отклонения получаемых свойств геометрического образа, формируемого станком, характеризует его качество. Количественно степень этого несоответствия определяется отклонением фактически достигнутых свойств геометрического образа и, соответственно, аналогичных им заданных свойств информационного образа изделия.

Геометрический образ изделия Ψ_i , формируемый металлорежущим станком без выполнения технологического процесса резания, образуется такой же совокупностью одновременных взаимосвязанных относительных движений рабочих органов станка, как и при выполнении физического процесса формообразования. Следовательно, возникающие при этом отклонения свойств геометрического образа определяются и обуславливаются только факторами и процессами, протекающими в станке при его работе.

Изделие, как материальное образование, при функционировании всей технологической системы формируется во множестве Ψ геометрических положений точек рабочего объема станка. Множество Ψ состоит из:

- множества Ψ_1 – геометрического места точек собственно изделия;
- множества Ψ_2 – геометрического места точек, которое занимал бы рабочий инструмент в процессе выполнения физического процесса резания (формообразования) при воздействии на обрабатываемый материал;
- множества Ψ_3 – геометрического места точек рабочего пространства, в котором отсутствует взаимодействие рабочего инструмента и изделия, а осуществляются лишь установочные и вспомогательные перемещения. Объединение указанных множеств представляет и образует собой геометрическое место

точек рабочего объема станка, в котором формируются свойства обрабатываемых изделий и геометрических образов.

Геометрический образ изделия Ψ_i может быть представлен в виде совокупности (множества) **единичных геометрических образов** (ΓO^e), Ψ_i^e последовательно формируемых станком в его рабочем объеме. Единичные геометрические образы характеризуются единством элементов, их связей и отношений, последовательностью, формой и законом взаимодействия. Единичные геометрические образы, полученные различными способами, могут иметь одинаковый вид (например, цилиндр может быть получен разными способами), но их свойства будут зависеть от способа их получения (рис. 3). Тогда общее число наиболее характерных видов единичных геометрических образов, обусловленных первыми четырьмя видами множества Ψ_2 , будет равно 252, или в общем виде количество геометрических образов будет равно:

$$N(\Psi^e) = K(\Psi_2) \cdot \sum_{i=1}^6 C_6^i,$$

где $K(\Psi_2)$ – количество видов множества Ψ_2 . Часть идеальных (номинальных) геометрических образов 1-го порядка, формируемых станком, для различных видов множества Ψ_2 приведена на рис. 3.

Общее структурное уравнение единичных геометрических образов [2–4] в матричном виде будет определяться следующим выражением:

$$\Psi^e = M_n^p \cdot M_n^d \cdot \dots \cdot M_1^p \cdot M_1^d \cdot M[\Psi_2],$$

где n – число координатных систем; M_n^p – матрица взаимных относительных исходных положений координатных систем; M_n^d – матрица взаимных относительных движений координатных систем; $M[\Psi_2]$ – матрица движущегося объекта (точка, линия и т.п.). Если единичный геометрический образ определяется как огибающая семейства кривых, то его уравнение находится путем решения системы:

$$f(x, y, t) = 0 \text{ и } \partial f(x, y, t) / \partial t = 0,$$

а при параметрическом задании кривых $x = x(u, v)$; $y = y(u, v)$ необходимо исключить из исходных уравнений любой из параметров, решая уравнение: $(\partial x / \partial u)(\partial y / \partial v) - (\partial x / \partial v)(\partial y / \partial u) = 0$.

Цифровой ГО изделия получаем при измерении на контрольно-измерительной машине (КИМ) множества точек каждой поверхности единичных ГО изделия после обработки на станке, а преобразование цифрового двойника ГО° станка в цифровой образ детали должно соответствовать их аналогичным параметрам и характеристикам детали (см. рис. 2).

Точность как понятие содержательно отражает свойство размера (линейная или векторная величина), а также содержательно отражает свойства и характеристики законов положения, движения, состояний, взаимодействий.

Поэтому необходимо различать следующие дефиниции понятия «точность»:

- точность изделия;
- физически (реально) достижимая точность;

- энергетически достижимая точность;
- точность физического процесса;
- технологическая точность;
- точность машины, оборудования, производственной системы;
- структурная точность;
- эффективная точность и т. п.

Иными словами, точность, как свойство системы, при системном рассмотрении также является результатом

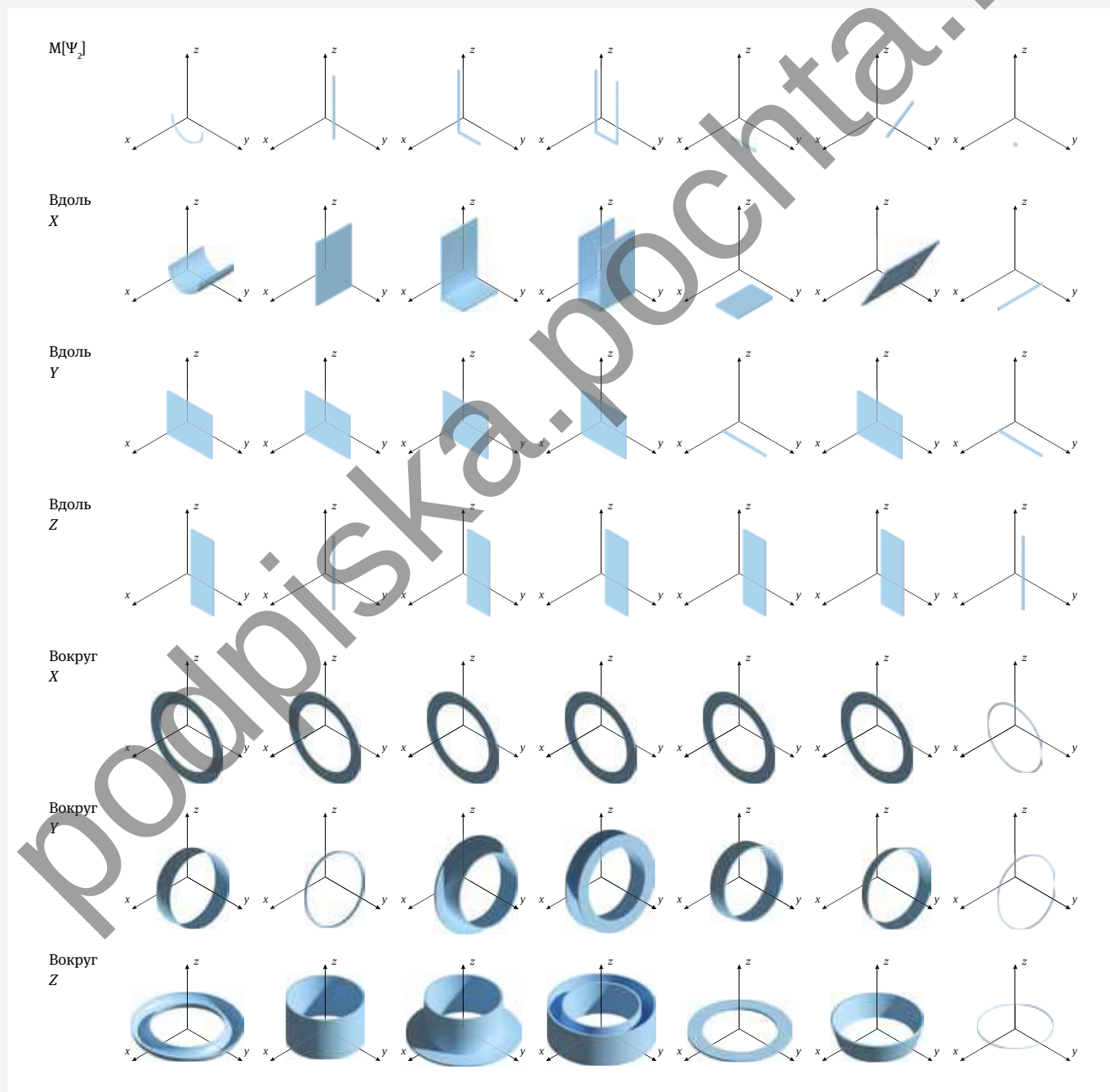


Рис. 3. Номинальные единичные геометрические образы Ψ_i^e

отражения взаимодействия структурных связей и отношений элементов системы, которые в данном случае порождают новую систему, основным свойством которой является точность.

Таким образом, **точность** (accuracy) – степень соответствия свойств(а) предмета, объекта, системы, процесса, явления его номинальному, заданному, установленному, допустимому, идеальному значению или закону.

Информационное определение: точность – разность информационного содержания о свойствах объекта его реальному, фактическому значению.

Математическое определение: точность – отклонение детерминированное, векторное или отклонение величины поля состояния свойств объекта относительно его теоретического описания.

Структурное определение: точность – степень отклонения связей и / или отношений между элементами структуры.

Элементами структуры понятия точности как системы являются их погрешности, ошибки (error) и отклонения их свойств в поле состояний объекта.

Выходной параметр станка – точность (accuracy), характеризующий функциональное свойство станка, будет определяться способностью станка как системы сохранять требуемые положения, связи и отношения неподвижных и подвижных деталей и узлов, обусловленные их функциональными назначениями для осуществления требуемых функций и законов поведения.

Напомним некоторые определения понятий [1], характеризующих структурные составляющие, которые будут формировать и описывать оборудование как последовательность взаимосвязанных объемов: объем детали – рабочий объем – объем оборудования.

Деталь – объем, в котором выполняются преобразования множеств единичных геометрических объектов: точки, линии, кривой линии и т.п., которые формируют геометрический образ изделия (детали).

В более общей формулировке деталь – это геометрический образ координатных систем и их преобразований.

Рабочий объем – пространство, в котором происходит формирование свойств детали: геометрии, формы, поверхности, структуры, положения, состояния.

Оборудование – это такой объем пространства, в котором вокруг рабочего объема размещены обобщенные модули движения / положения.

Модуль движения / положения – последовательное размещение элементов, которые отражают матрицы единичного движения / положения. Модуль состоит из семи составляющих:

- базового, в котором отсутствует движение;
- трех модулей движения / положения – линейного;
- трех модулей движения / положения – поворота (вращения).

Движением будем называть преобразование, при котором расстояние между любыми двумя точками равно расстоянию между их образами. Тогда, очевидно, и поворот также является движением.

Положением будем называть преобразование, которое изменяет ориентацию образа.

Следовательно, любое движение является либо параллельным переносом, либо поворотом, либо симметрией, либо композицией симметрии и параллельного переноса на вектор, параллельный оси симметрии (теорема Шалля).

Металлорежущий станок можно также рассматривать как систему, состоящую из множества элементов, заданным образом занимающих друг относительно друга пространственное положение, часть из которых может осуществлять относительные движения. В этом случае, координатная система детали будет представлена в оборудовании элементами движения в виде направляющих – как линейных, так и вращения, а также в виде цилиндрических, круговых или кольцевых направляющих, то есть направляющие являются материальным эталоном координатных систем и, следовательно, они выполняют те же функции преобразований.

Так, местоположение и направление координатных осей могут быть определены или как линия, лежащая на плоскости направляющей или как линия пересечения плоскостей, построенных на направляющих. Тогда все геометрические несоответствия координатных систем идеальных (геометрически) и реальных (номинальных) обуславливают и отображают это несоответствие и проявляются в виде погрешностей и отклонений координатных осей, плоскостей и направлений (ориентаций). Следовательно, неточности изготовления направляющих и их взаимная ориентация (например, при сборке) приводят к геометрическим погрешностям станка, а геометрически идеальная координатная система станка является трудно реализуемой на практике задачей.

По причине возникновения отклонений выходные параметры можно разделить на три группы: **положения, движения, состояния**.

Погрешности положения обусловлены ошибками изготовления и монтажа, а также искажениями при эксплуатации узлов и деталей станка. К ним относятся такие погрешности, как, например, отклонение от перпендикулярности оси шпинделя к плоскости стола, отклонение от параллельности оси шпинделя направляющим, отклонения от параллельности / перпендикулярности направляющих и т.п.

Исходя из функционального назначения элементов станка, погрешности (ошибки, error) положения определяют в виде характеристик взаимных положений в выбранной системе координат таких типовых геометрических элементов, как «точка – точка», «точка – линия»,

Таблица 1. Характеристики геометрических объектов

Положение	$F(u) = F(x, y, z) = 0;$ $F(u^1) = F^1(x^1, y^1, z^1) = AF(x, y, z) + \xi;$ $A = \frac{dF(u^1)}{du};$ $J = \det A \neq 0$	
Движение	Траектория	$\sum \left\{ \frac{d}{dt} \left(\frac{dL}{dq_i} \right) - \frac{dL}{dq_i} = Q_i \right\}$
	Динамика	$\sum F = \sum ma;$ $m \frac{d^2 u}{dt^2} + b \frac{du}{dt} + ru + f = 0;$ $u \wedge (\vee) u^1$
Состояние	Стационарное	$\frac{d^2 \Omega}{du^2} = 0;$ $\Omega = \Omega_0 \Big _{u=u_0};$ $\frac{d\Omega}{du} = p \vee k \Delta \Omega$
	Нестационарное	$\frac{d^2 \Omega}{du^2} = \frac{d^2 \Omega}{dt^2};$ $\Omega = \Omega_t \Big _{t=t_0};$ $\frac{d\Omega}{du} = p \vee k \Delta \Omega$

«линия – линия», «линия – плоскость», «плоскость – плоскость» и т. п.

Погрешности движения обусловлены ошибками изготовления, монтажа и управления подвижными элементами станка при их взаимодействии в процессе движения для выполнения заданного закона движения в соответствии с функциональными требованиями к нему. К ним относятся погрешности (ошибки, errors): кинематические, функционирования, траектории движения рабочих органов, позиционирования, прямолинейности, скорости, ускорения и т. п. Следовательно, любые отклонения как в пространстве, так и во времени от заданного закона изменения таких их типовых геометрических элементов, как точка, линия, плоскость, объем, или взаимного относительного движения подвижных деталей и узлов станка (или их центра масс) в выбранной системе координат типовых геометрических элементов («точка – точка», «точка – линия», «точка – плоскость», «линия – линия», «линия – плоскость», «плоскость – плоскость»),

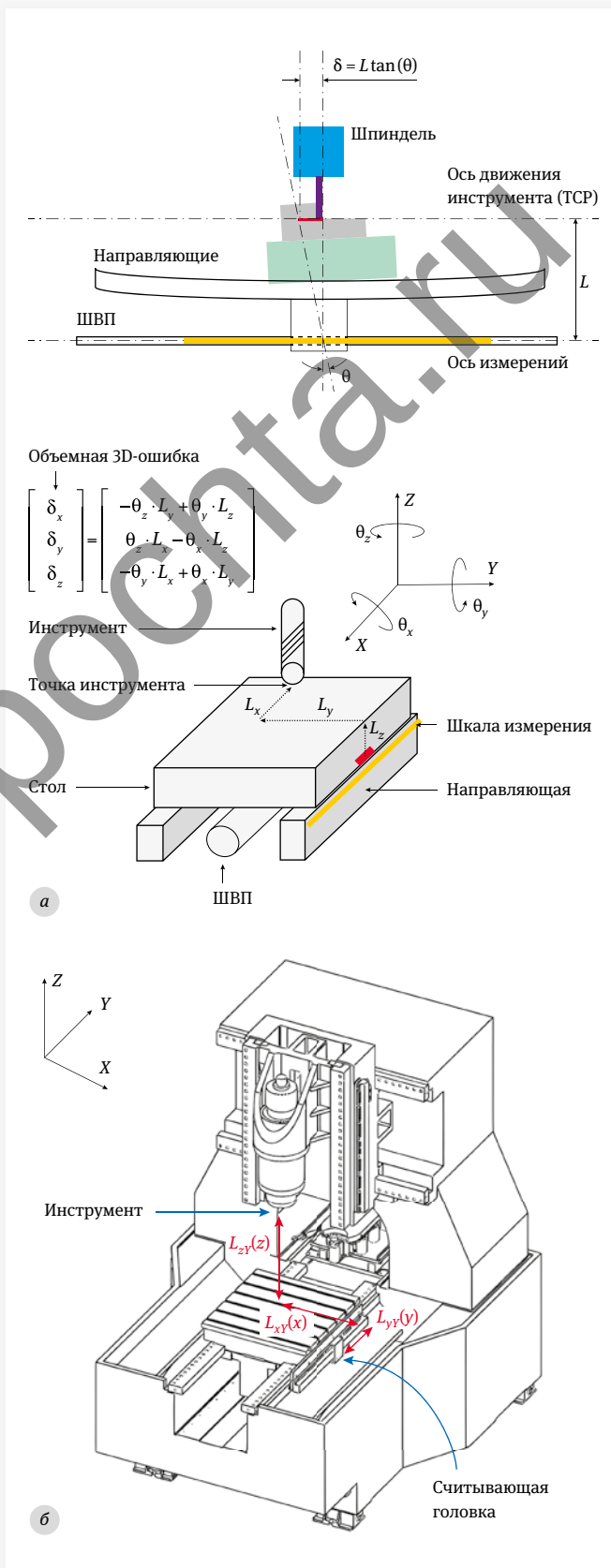


Рис. 4. Погрешность Аббе: а – принцип проявления в 1D; б – принцип проявления в станке (3D) [12, 13]

Таблица 2. Геометрические погрешности по стандарту

Наименование и обозначение оси	Обозначение геометрической погрешности по ГОСТ ISO 230-1-2018
Ось X	$E_{xx} E_{yx} E_{zx} E_{Ax} E_{Bx} E_{Cx} E_{Box} E_{Cox} E_{xox}$
Ось Y	$E_{xy} E_{yy} E_{zy} E_{Ay} E_{By} E_{Cy} E_{Aoy} E_{Coy} E_{yoy}$
Ось Z	$E_{xz} E_{yz} E_{zz} E_{Az} E_{Bz} E_{Cz} E_{Aoz} E_{Boz} E_{zoz}$
Ось A	$E_{xA} E_{yA} E_{zA} E_{AA} E_{BA} E_{CA} E_{yOA} E_{zOA} E_{BoA} E_{CoA} E_{AoA}$
Ось B	$E_{xB} E_{yB} E_{zB} E_{AB} E_{BB} E_{CB} E_{xOB} E_{zOB} E_{AoB} E_{CoB} E_{BoB}$
Ось C	$E_{xC} E_{yC} E_{zC} E_{AC} E_{BC} E_{CC} E_{xOC} E_{yOC} E_{AoC} E_{BoC} E_{CoC}$

которые обуславливают и отражают требуемые функциональные законы их движения.

К **погрешностям состояния** относят отклонения свойств, параметров и характеристик узлов и деталей станка и их взаимных положений, движений, вызванные изменением их состояния вследствие статических и динамических воздействий на них силовых, тепловых и других форм и видов энергии, в их числе, например, вибрации, упругие и тепловые деформации, износ и т. п.

Тогда характеристики положения, движения или состояния деталей и узлов металлорежущих станков – твердых тел как геометрических объектов – могут быть измерены или описаны аналитическими зависимостями, определяются геометрическими параметрами и функциональными законами, обусловленными их назначением, положением в пространстве и их изменением во времени вследствие внутренних и внешних силовых и тепловых воздействий (табл. 1).

Таблица 3. Соотношения стандартов точности и методов управления ею

	Положение	Движение	Состояние
Стандарт	230-1, 230-7, 230-9, 230-10, 10791-7, 16907	230-1, 230-2, 230-4, 230-6, 230-7, 230-9, 230-10, 10791-6, 16907	230-3, 230-8, 230-9, 230-10, 10791-10, 16015
Управление	–	–	+
Компенсация	+	+	+
Коррекция	–	+	+
Снижение	–	+	+

Все это формирует и определяет совокупность погрешностей (ошибок, error) – составляющих параметров общей точности металлорежущего станка: геометрических, кинематических, упругих, динамических, температурных погрешностей, а также погрешностей управления (аппроксимации) и Аббе (из-за качания подвижного органа относительно горизонтальной и вертикальной осей), которые в отдельности в достаточной степени описаны (рис. 4), систематизированы и представлены в большей части в отечественных и зарубежных стандартах.

Перечисленные погрешности зависят от многих факторов, поэтому они являются функциями состояний узлов и деталей (элементов) станка. Под состоянием в широком смысле понимается совокупность пространственных, временных и энергетических параметров, определяющих значения данной функции (параметра, погрешности, ошибки). Областью состояний для одноименной погрешности является множество значений погрешности внутри рабочего объема станка.

Исходя из вышеприведенной расшифровки понятия «точность» в табл. 2 приведены обозначения элементарных геометрических погрешностей станка, а в табл. 3 – оцениваемые и измеряемые в соответствии со стандартами параметры и характеристики, обуславливающие отдельные свойства и содержание значений их величин, которые формируют выходную точность станка в системах управления точностью станков.

Литература

1. Кузнецов А. П. Структуры процессов и оборудования обработки резанием. Ч. 4. Структуры оборудования обработки резанием. М.: Вестник Машиностроения, 2015. № 5. С. 63–77.
2. Проников А. С., Стародубов В. С., Кузнецов А. П. Методические указания 1-я редакция. Надежность в технике. Технологические системы. Расчет и оценка показателей параметрической надежности технологического оборудования с ЧПУ / М.: ВНИИММаш ГОССТАНДАРТ СССР, 1980. 114 с.
3. Кузнецов А. П. Методы оценки и контроля качества металлорежущих станков с ЧПУ. М., ВНИИТЭМР, 1985. 68 с.
4. Кузнецов А. П. Тепловое поведение и точность металлорежущих станков. М.: Янус-К, 2011. 256 с.
5. Portman V., Inasaki I., Sakakura M. and Iwatate M. (1998) Form-Shaping System of Machine Tools: Theory and Applications. Annals of the CIRP, 47, 1998, 329–332.
6. Portman V. T. Mechanics of accuracy in Engineering design of Machines and Robots. Volume 1. Nominal functioning and geometric accuracy. ASME Press. 2018. 470 p.

Автор

Кузнецов Александр Павлович – доктор технических наук, профессор кафедры станков МГТУ «СТАНКИН»

При выборе плоттера мы не прогадали



Рассказывает Евгений Николаевич Романюк, начальник отдела по производству формовой и неформовой техники и плоттерной резки АО «НИИРП»

АО «НИИРП» (входит в госкорпорацию «Ростех») – многопрофильное научно-производственное предприятие, в стенах которого на протяжении 55 лет разрабатываются резины, в том числе с уникальными свойствами. Тут же из патентованных составов производятся резинотехнические изделия по заказу компаний из ОПК, аэрокосмического комплекса, авиа- и судостроения, машиностроения, нефтегазовой промышленности, сельского хозяйства. Опытном выбора и эксплуатации цифрового оборудования, обеспечивающего необходимый таким заказчикам высочайший уровень качества, с читателями журнала «СТАНКОИНСТРУМЕНТ» поделился Е. Н. Романюк.

Евгений Николаевич, какие задачи решает ваш отдел?

Производство формовых и неформовых резинотехнических изделий (РТИ). Формовые РТИ – это разнообразные уплотнительные кольца, манжеты, втулки, колпачки, без которых сегодня не обходится ни один механизм. Они создаются из сырой резины либо путем вулканизации и формовки массы под воздействием давления и высокой температуры, либо путем отливки в форму.



Неформовые резинотехнические изделия – трубы, шнуры и уплотнительные профили – производятся путем выдавливания разогретой резиновой смеси из формирующей головки с последующей вулканизацией. Для того, чтобы по длине эти изделия соответствовали параметрам, необходимым заказчикам, используется в том числе плоттерная резка.

Как вы подбирали такое раскройное оборудование и почему остановили свой выбор на продукции под брендом Zünd?

В начале 2010-х годов руководством нашего института было принято решение расширить спектр услуг для клиентов за счет внедрения и освоения новых современных технологий. Выбор был сделан в пользу плоттерной резки для производства плоских резиновых изделий: при таком способе получаются детали с ровными краями, которые не нужно дополнительно обрабатывать. Изначально мы использовали оборудование другого бренда, однако в процессе эксплуатации оказалось, что у него немало минусов. Довольно часто возникали поломки, которые обслуживающая фирма не спешила своевременно устранять, расходные материалы и запасные части к плоттеру стоили дорого.

Увидев, что простой оборудования ведет к финансовым потерям и, что не менее важно, к утрате доверия со стороны заказчиков, которые часто не могли дожидаться выполнения работ, мы начали искать ему замену. Нам нужен был промышленный плоттер, рассчитанный на интенсивную ежедневную эксплуатацию, надежный и обеспечивающий высокое качество резки. Внимательно изучив предложения всех поставщиков на рынке, мы остановили свой выбор на бренде Zünd. Эта частная швейцарская компания является одним из ведущих производителей многофункциональных режущих плоттеров. Мы решили, что в долгосрочной перспективе швейцарское качество окупит довольно высокую цену этого оборудования, и приобрели многофункциональный высокоскоростной и высокоточный плоттер Zünd S3 M-800.



Сразу скажу, как показали семь лет эксплуатации этого оборудования, мы не прогадали.

Какие задачи решает цифровой раскройный комплекс Zünd в НИИРП?

С помощью плоттерной резки мы изготавливаем резинотехнические изделия любой конфигурации по чертежам и эскизам заказчиков из любых отраслей промышленности. Это могут быть прокладки, уплотнители, кольца, шайбы или что-то еще, которые мы выпускаем как большими, так и малыми партиями.

Иногда заказчики просто рассказывают нам, какая деталь им нужна, затем наши конструкторы разрабатывают для них чертежи и схемы, а технологи подбирают необходимую марку резины из множества вариантов: ТМКЩ, АМС, МБС, морозо- и термостойкие, пищевые, силиконовые, а также специального назначения.

Если качество нашей работы заказчика устраивает, то мы заключаем с ним долговременный договор, и он становится нашим постоянным клиентом.

Отвечает ли плоттер Zünd S3 M-800 вашим требованиям?

Мы поняли, что он нас полностью устраивает, сразу, как только начали на нем работать. Сегодня, имея за плечами годы эксплуатации этого оборудования, мы можем сказать, что оно успешно выполняет все то, что мы от него хотим. Благодаря высокой точности позиционирования – $\pm 0,1$ мм / м, плоттер S3 вырезает детали качественно. Кроме того, он работает быстро, и это позволяет нам выпускать детали по чертежам, предоставленным заказчиком, в день его обращения. К примеру, тонкую силиконовую пластину размером 1000×1000 мм плоттер режет за 20 мин.

Оператор задает алгоритм работы, подкладывает материал, из которого надо вырезать изделия, и после этого программа резки выполняется раскройным комплексом автоматически. Задачи человека – следить за параметрами работы плоттера, в частности, чтобы не

возникало никаких отклонений и перекосов материала в процессе резки.

Также для нас важно, что в этом оборудовании очень хорошо проработана система безопасности. Лазерные датчики моментально фиксируют любые лишние движения в рабочей зоне оборудования и моментально останавливают резку. То есть получить травму, работая на нашем плоттере невозможно: он сразу блокируется.

Довольны ли вы своим выбором?

Как я уже сказал, многофункциональный раскройный комплекс у нас работает семь лет в две смены, то есть по 16 ч в сутки, тогда как все остальное оборудование – только по 8 ч. И при этом серьезных проблем или остановок не возникало.

К тому же, наши сотрудники, которые на нем работают, уже по звуку ножа могут определить, что его пора менять или что надо другую скорость установить. Любые их вопросы решаются по телефону: мы звоним в сервисный центр компании «ОктоПринт Сервис». Там нас консультируют и дают качественную пошаговую





инструкцию, пользуясь которой мы можем сами своими силами проблему решить.

Словом, поскольку за все эти годы мы ни разу не подвели заказчика из-за остановки режущего оборудования, своим выбором мы очень довольны. И если в перспективе у нас возникнет потребность во втором плоттере, мы однозначно будем смотреть только в сторону Zünd.

А как вы оцениваете сервисное обслуживание оборудования?

Наш плоттер стоит на сервисном обслуживании. Раз в год к нам приезжают специалисты сервисного центра компании «ОктоПринт Сервис» и проводят осмотр оборудования, а также необходимые технические и регламентные работы. Мы убедились, что в сервисной службе работают компетентные и отзывчивые инженеры. Поскольку у нас с ними давно налажена обратная связь, на наши запросы и обращения они реагируют быстро.

А такие операции, как замена режущих деталей, производятся нашими сотрудниками. Основные расходные материалы для плоттера – это ножи из высоколегированной стали и подложка, на которую укладываются резина или силикон для изготовления деталей. Они подлежат регулярной замене. И мы ее выполняем силами наших сотрудников – операторов.

Были ли проблемы, с которыми сервисным инженерам справиться не удалось?

Нет, не было.

Насколько долго надо учиться управлять плоттером?

Плоттер – это цифровое высокотехнологичное и multifunctional оборудование, поэтому для

его обслуживания операторов нужно готовить. Узнать об основных режимах работы раскройного комплекса, принципах подбора режущих инструментов и режимов работы можно в демонстрационных центрах партнеров компании Zünd Systemtechnik AG.

Если сегодня какой-то наш сотрудник захочет стать оператором плоттера, его этому обучат на месте. Действующий оператор поможет получить необходимые знания и приобрести навыки. Для нас это очень большой плюс. Понятно, что мы не можем позволить себе останавливать дорогое оборудование и завязанный на него производственный цикл из-за болезни его оператора. А освоить работу на плоттере сравнительно легко и довольно быстро. Как результат – появляется взаимозаменяемость персонала. Потратили какое-то время на обучение сотрудника, и он встал к оборудованию и начал на нем работать.

Планируете ли вы расширение и модернизацию парка оборудования? Если да, то в какие сроки какое оборудование хотите докупить и для решения каких задач?

Мы хотим идти в ногу с техническим прогрессом и удовлетворять спрос наших клиентов, действующих и потенциальных, в качественных плоских резинотехнических изделиях, и потому рассматриваем различные варианты расширения технической базы своего производства. При этом мы прислушиваемся к пожеланиям и предложениям тех, кто на этом участке и на этом оборудовании работает, поскольку заинтересованы в создании для них комфортных условий.

Вместе с тем мы понимаем, что новое оборудование не должно простаивать по причине недозагрузки или дороговизны сырья. К тому же, мы отдаем себе отчет в том, что планируя расширение производства, должны учитывать внешние факторы, такие как пандемия коронавируса и девальвация национальной валюты. Сейчас весь мир находится в таком положении, когда надо каждый шаг, связанный с финансами, тщательно прорабатывать.

Так что в перспективе полугода приобретать оборудование мы не будем, хотя ранее планировали.

Какое оборудование вы планируете приобрести в более отдаленной перспективе, трех-пяти лет?

Я бы не стал говорить однозначно. Возможно, это будет второй multifunctional раскройный комплекс. Время покажет.



«ОктоПринт Сервис»

📍 143405, Московская обл., г. Красногорск, Ильинское ш., 4-й км

☎ +7 499 490-10-91

✉ zund@oktoprint.ru

🌐 www.oktoprint.ru, www.zund-rus.ru

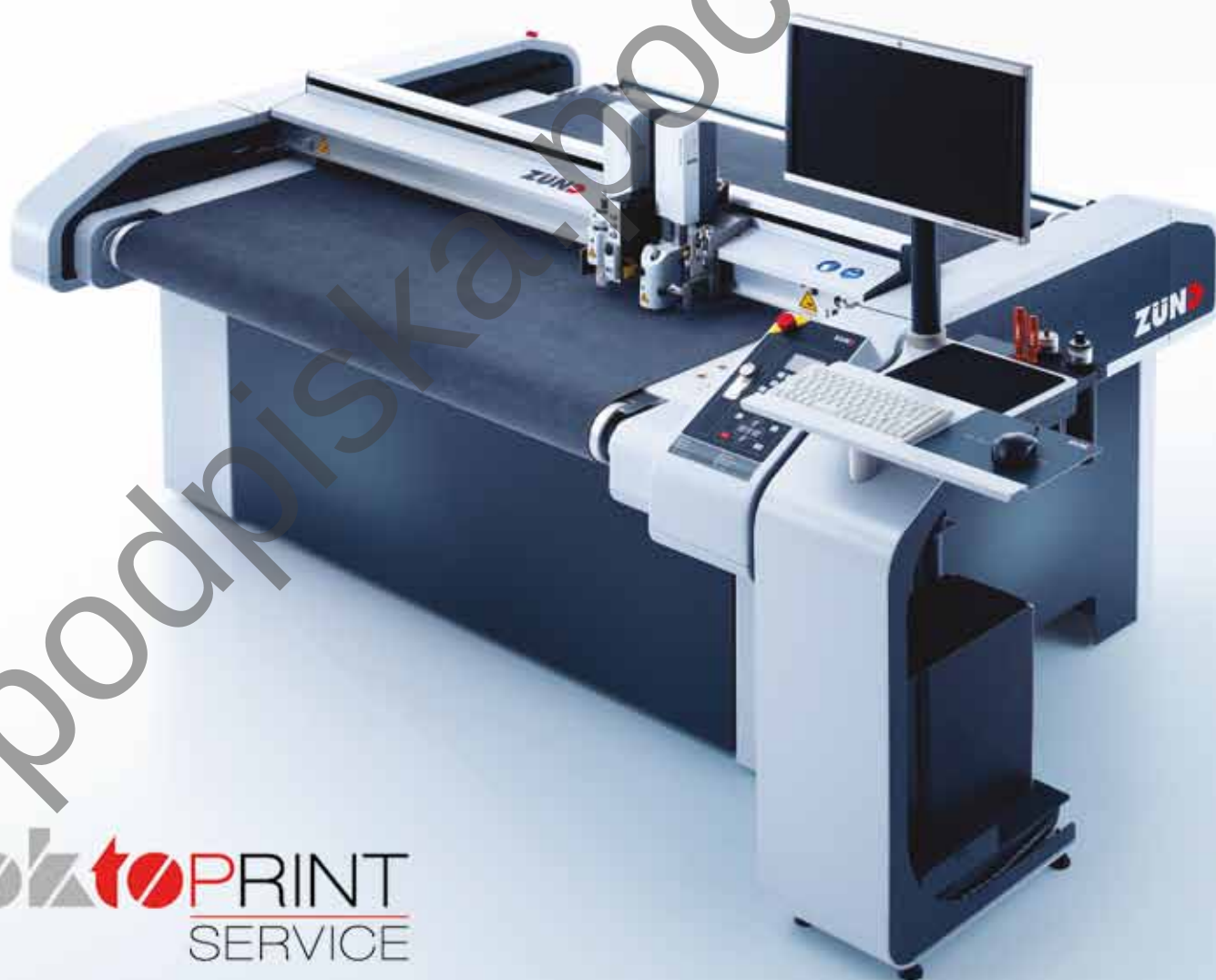


УНИВЕРСАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ВАШЕГО БИЗНЕСА

ZÜND
swiss cutting systems

Раскройный комплекс ZÜND

- Широкий спектр обрабатываемых материалов
- Режим работы 24/7
- Высокая точность и скорость раскроя материалов



OKTOPRINT
SERVICE

«ОктоПринт Сервис»
официальный представитель
Zünd Systemtechnik AG в РФ и странах СНГ

Московская область, г. Красногорск,
Ильинское шоссе, 4-й км
www.zund-rus.ru

+7 499 490 10 91
Запишитесь на демонстрацию
оборудования Zünd

Перспективы применения режима квазипластичности для обработки актуальных высокотехнологичных изделий из твердых хрупких материалов

А. А. Панкратов

Рассмотрены различные аспекты применения алмазных материалов для производства инновационных высокотехнологичных продуктов и изделий для приборостроительной, атомной, авиационно-космической и других отраслей промышленности. С целью повышения эффективности обработки твердых хрупких материалов предложено создание устройства или оснастки к действующим серийным шлифовальным станкам, воспроизводящим элементы квазипластичной обработки.

Ключевые слова:

квазипластичность, обработка твердых хрупких кристаллических материалов, синтетический алмаз, шлифовальный станочный модуль

УДК 621.74 | ББК 05.02.07

DOI: 10.22184/2499-9407.2022.26.1.72.80

Перспективным способом получения высококачественной поверхности нанометрового рельефа твердых хрупких кристаллических материалов является удаление поверхностного слоя в режиме квазипластичности (см. СТАНКОИНСТРУМЕНТ, 2021, № 1, 2, 3).

Стоит напомнить, что квазипластичность – проявление пластических свойств поверхностным слоем твердых хрупких материалов при обработке. Технология квазипластичной обработки твердых материалов основана на обеспечении механического воздействия на обрабатываемую поверхность (ОП) материала при подаче шлифовального круга (ШК), составляющей доли мкм/ход. При этом поверхностный слой твердых хрупких материалов проявляет свойство пластичности и преобладающим механизмом становится не хрупкое разрушение, а квазипластичное удаление поверхностного слоя материала.

Обработка в режиме квазипластичности достигается при обеспечении жесткости конструкции упругой обрабатывающей системы и относительной изоляции от внешних возмущений. Таким образом, заготовки из хрупких материалов можно механически обрабатывать в регулируемом режиме с получением обработанной поверхности нанометрового рельефа.

Обработка в режиме квазипластичности основана на применении известных разработок в шлифовании металлов, твердых и хрупких материалов, реализована посредством упругой обрабатывающей системы станочного модуля АН15ф4 с числовым программным управлением (ЧПУ), который был создан в Экспериментальном научно-исследовательском институте металлорежущих станков (ЭНИМСе, Москва) (рис. 1).

В основе конструкции лежат известные принципы адаптивного управления станков для шлифования

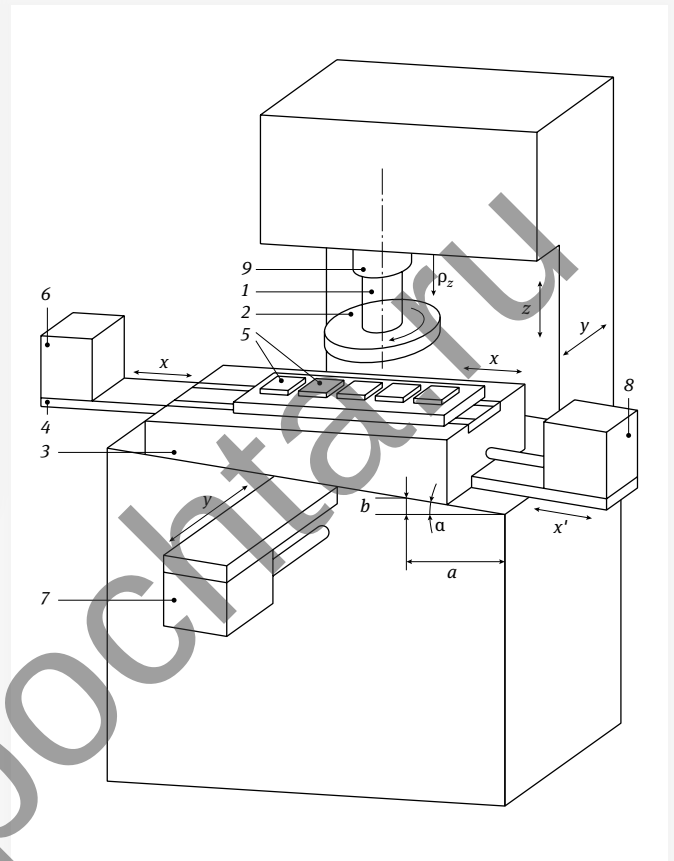


Рис. 1. Станочный модуль АН15ф4 с ЧПУ: вверху – общий вид, справа – схема станочного модуля

металлов [1] и ноу-хау разработчиков. Упругая обрабатывающая система обеспечивает достаточную жесткость, высокую разрешающую способность и стабильность дискретного перемещения исполнительных органов. В станочном модуле с ЧПУ модели АН-15ф4 реализована принципиально новая технология на основе информации об упругих деформациях в обрабатываемой системе.

Рассмотрим принцип работы станочного модуля АН15ф4 с ЧПУ [2]. Основные конструктивные узлы и детали станочного модуля приведены на рис. 1 и 2. Стол 1 станка перемещается в продольном (ось X) направлении по направляющим 2 крестового суппорта 3 посредством ременной передачи 4 от двигателя ДК-1-5.2-П постоянного тока и червячного редуктора 5 с передаточным числом 1:18. Скорость перемещения стола регулируется бесступенчато, изменением числа оборотов двигателя привода стола.

Реверс стола осуществляется при помощи бесконтактных путевых выключателей. Крестовый суппорт имеет поперечное перемещение вдоль оси Y . По направляющим 6 и 7 крестовый суппорт перемещается за счет механизма поперечного перемещения в виде червячного редуктора 8 с передаточным числом 50 от шагового двигателя ШД5Д1М. Вертикальная подача вдоль оси Z осуществляется перемещением крестового суппорта по поперечным направляющим 6, расположенным с наклоном 1:10 относительно направляющих стола (ось X) по крестовой шпонке 9. Привод вертикальной подачи осуществляется от шагового двигателя ШД5Д1М через механизм вертикальной подачи в виде червячного редуктора 10 с передаточным числом 1:50 и винтовой парой качения 11 с шагом 6 мм. Величина вертикального



перемещения стола относительно инструмента составляет 10 мм. Три шлифовальных шпинделя 12 размещены в расточках револьверной головки 13 и поочередно перемещаются в зону обработки ее поворотом на 120° в обе стороны от начального положения. Компонувочное решение и конструкция 6-координатного станочного модуля позволяет обеспечить жесткость упругой обрабатываемой системы в направлении нормали к обрабатываемой поверхности – 120 (Н · мкм), диапазон изменения врезных подач – 10...1250 нм/об, биение режущей поверхности шлифовального круга – менее 0,1 мкм. Станочный модуль содержит три шлифовальных шпинделя с аэростатическими опорами вращения в каждом из них. Частота вращения каждого шпинделя регулируется в диапазоне 3000–6000 об/мин. Основные параметры станочного модуля приведены в статье [3].

Проводились следующие испытания макетного образца станочного модуля с числовым программным управлением:

1. станок эксплуатировался в течение трех лет на предприятии КБ «Гюйс» (г. Рыбинск) при обработке керамических видеоголовок с твердостью 9 единиц по шкале Мооса;
2. обрабатывалось большое количество изделий из фианитов с 57, 33 и 17-ю гранями;

3. обрабатывалось изделие из сапфира (312 граней);
4. в сентябре 1999 года была произведена обработка натуральных алмазов, ориентированных только в «твердом» направлении по специальному заданию фирмы ILIC (Ирландия).

Во всех случаях были получены положительные результаты. Поверхности после процесса обработки не имели дефектов хрупкого разрушения, привнесенных процессом обработки. Заданные выходные параметры были

получены в соответствии с техническими заданиями на изготовление. Несмотря на имеющиеся недостатки обработки изделий при этих испытаниях (невысокая производительность), были сделаны выводы о перспективности развития способа поверхностной обработки в режиме квазипластичности и возможности его применения для автоматизации процесса поверхностной обработки изделий твердых хрупких материалов при индивидуальном и групповом производстве изделий.

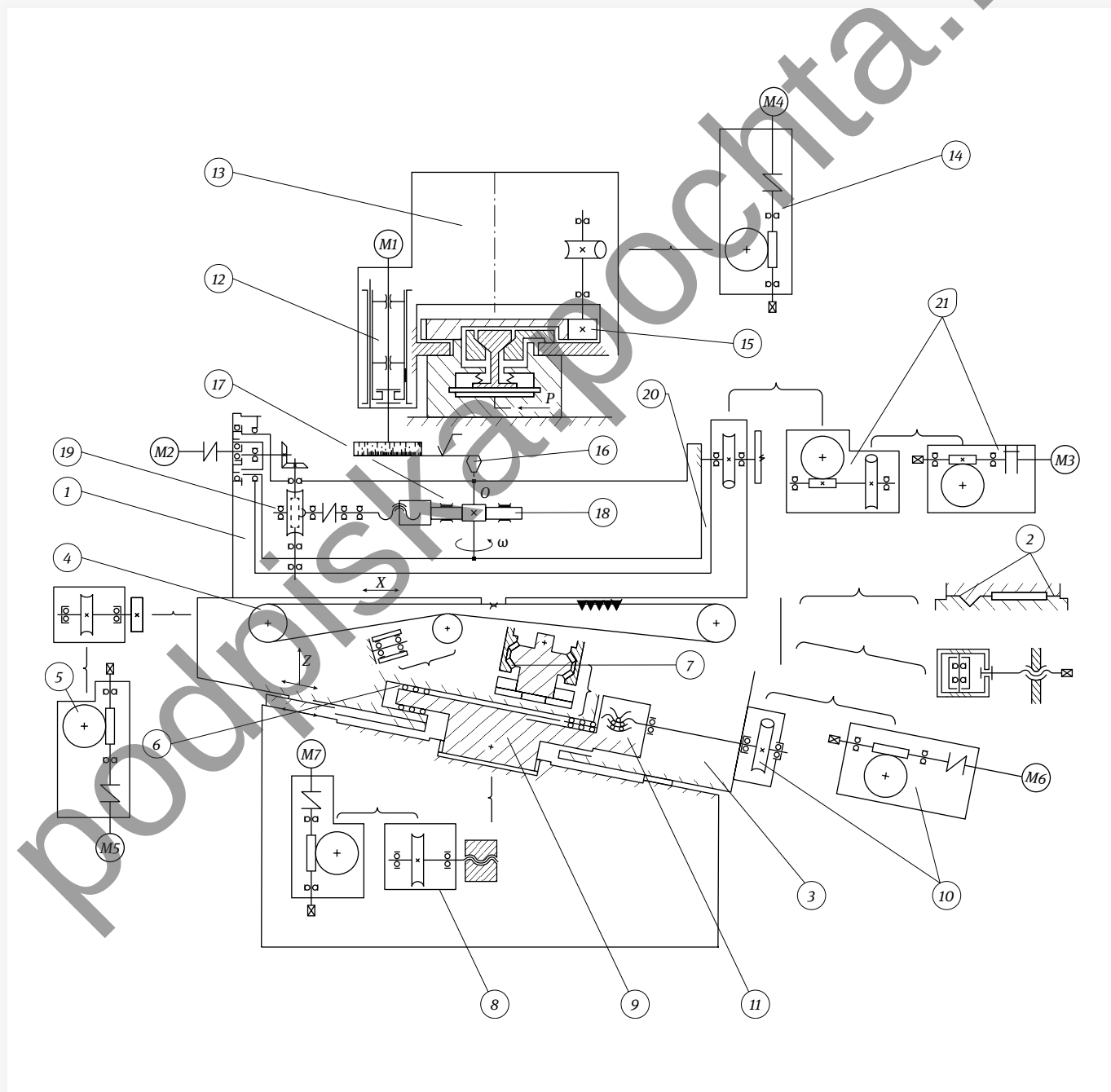


Рис. 2. Кинематическая схема станочного модуля АН15Ф4 с ЧПУ

Проведенные Тепловой Т. Б. исследования тепловых процессов, сопровождающих квазипластичную обработку [4], и частотного анализа колебаний, сопровождающих квазипластичную обработку [5], позволяют сделать выводы об актуальности квазипластичной обработки твердых хрупких материалов в интересах современных высокотехнологичных отраслей промышленности: микроэлектроники, светотехники, оптики и др.

Поверхностная обработка твердых хрупких материалов в режиме квазипластичности актуальна для получения поверхностей материалов электронной техники с нанометровым рельефом поверхности без дефектов, привнесенных процессом обработки. Особенно это важно для перспективных или вновь созданных материалов, имеющих сложности в обработке из-за их твердости и хрупкости.

Фундаментальной базой развития всех современных систем радиоэлектронной аппаратуры являются интегральная и функциональная микроэлектроника. Рабочие характеристики электронных компонентов, а следовательно выходные параметры аппаратуры определяются свойствами используемых материалов. Растущие требования к современной электронной аппаратуре требуют создания и исследования новых материалов для изготовления компонентов. Одними из самых перспективных материалов являются широкозонные материалы, такие как карбид кремния и алмаз.

При этом имеются наработки по применению алмаза в качестве эпитаксиальной подложки для выращивания функциональных полупроводниковых слоев из SiC, GaN, GaP и др.

Алмаз, помимо ювелирной промышленности, может применяться в микроэлектронике и других отраслях промышленности благодаря своим исключительным свойствам. Алмаз является одним из лучших изоляторов, в отличие от кремния, который даже в особо чистом виде является полупроводником. В качестве изолятора алмаз характеризуется чрезвычайно высокой сопротивляемостью электрическому пробое, потому на его основе можно изготавливать более миниатюрные электронные устройства, чем по кремниевой технологии. При легировании бором, азотом или фосфором алмаз превращается в полупроводник. В мире постоянно расширяется использование алмазных материалов для производства целого ряда инновационных высокотехнологичных продуктов и изделий для приборостроительной, атомной, авиационно-космической и других отраслей промышленности.

К таким изделиям относятся прецизионные подложки и приборные заготовки для микроэлектроники и оптоэлектроники, конструкционные элементы мощных СВЧ-транзисторов и теплоотводов для

силовой электроники, светодиодов и лазеров голубого и УФ-диапазона, фотоприемников УФ-диапазона, детекторов ядерных и ионизирующих излучений, датчиков ионизирующих излучений для горнодобывающей промышленности, МЭМС-структур и ряда других.

В микроэлектронике подложка выполняет роль механического носителя и отводит тепло от микросхемы в процессе ее работы. Поэтому для изготовления подложек применяются кристаллические материалы, обладающие большой твердостью и высокой теплопроводностью (кремний, лейкосапфир, алмаз). В микроэлектронике приборы изготавливаются путем последовательного осаждения функциональных слоев на подложки. Эпитаксия – это метод послойного выращивания одного кристаллического твердого тела на поверхности другого (подложки), при котором растущий кристалл наследует кристаллографическую структуру подложки. На подложку после эпитаксии наносят элементы микросхем. В связи с этим важной задачей является обработка твердых и новых материалов для применения изделий из них в микроэлектронике. В настоящее время точность геометрической формы и разброс размеров по толщине пластины при изготовлении электронных компонентов лежит в пределах 5–10 мкм.

Практикой установлено, что чем выше размерная и геометрическая точность обработки, тем выше процент выхода годных полупроводниковых приборов. Изготовление подложки является первым этапом в создании микросхем и приборов на их основе. От качества подложки зависит надежность работы микросхем. Дефекты поверхностного и подповерхностного слоев подложки прорастают в выращенную на ней микросхему и могут привести к ее отказу и сбою в работе прибора, в состав которого входит эта микросхема. Следовательно, особую актуальность приобретают задача обработки поверхности алмазных пластин с достижением требуемых для дальнейшего применения в микроэлектронике и технике выходных качественных параметров.

Помимо перспектив использования в изделиях отечественной промышленности, алмазные материалы данного типа обладают высокой конкурентоспособностью на внешних рынках и имеют значительный экспортный потенциал.

В настоящее время ведется интенсивная разработка технологии изготовления пассивных и активных приборов на основе алмаза. Уникальные свойства алмаза делают целесообразным его применение при изготовлении микроэлектромеханических систем (МЭМС), к которым относится множество микроустройств различного назначения, производимых сходными методами с использованием модифицированных групповых технологических приемов микроэлектроники – гидравлические и пневмоклапаны, сопла, пружины,

микродатчики и исполнительные устройства, инструменты (скальпели, пинцеты, аналитические лаборатории на чипе).

Использование алмазного сырья для создания высокотехнологичных продуктов и изделий позволит в десятки раз увеличить рентабельность производства по сравнению с алмазо-бриллиантовой отраслью, и в тысячи и более раз – по сравнению с производством алмазных абразивных порошков, а также диверсифицировать отечественную промышленность, найти новые рынки и направления сбыта продукции.

До недавнего времени использование алмазного сырья для высокотехнологичной продукции было ограничено добычей природных алмазов и их качеством, не позволяющим применять их для серийного изготовления изделий микроэлектроники, оптоэлектроники, светотехники и других отраслей промышленности, требующих высококачественного алмазного сырья.

В настоящее время широкое развитие получил синтез искусственных алмазов. Промышленные синтетические алмазы также широко известны как HPHT-алмазы или CVD-алмазы, названные так в честь двух популярных методов их производства. HPHT-процесс (High Pressure High Temperature) – при высоких давлении и температуре, а CVD-процесс (Chemical Vapor Deposition) – химическое осаждение из пара.

Впервые искусственный рост алмаза был выполнен методом HPHT в 1953 году. Начиная с 1980-х годов активно развивается метод синтеза из газовой фазы (CVD), позволяющий получать алмазы, пригодные для создания электронных приборов. В 2003 году на рынок вышла первая волна искусственных алмазов ювелирного качества. В основном их производством занимались компании Gemesis во Флориде и Apollo Diamond в Бостоне. На данный момент производство синтетических алмазов стремительно набирает обороты. CVD-метод позволяет выращивать монокристаллические алмазы на подложках площадью до $10 \times 10 \text{ мм}^2$ со скоростью порядка 20 мкм/ч [6]. В настоящее время доминирующее положение в мире в области синтеза алмазов электронного качества занимает фирма Element Six (Великобритания), являющаяся дочерним предприятием фирмы-монополиста De Beers. Достигнутые результаты позволяют воспроизводимо получать монокристаллический алмаз электронного качества. Разработки приборов на синтетических монокристаллических алмазах ведутся на протяжении многих лет. На природных и синтетических монокристаллах алмаза уже удалось создать СВЧ-транзисторы, диоды Шоттки, «слепые» к солнечному свету фотоприемники, датчики рентгеновского излучения и т. п. [7, 8].

Однако по политическим причинам с 2019 года алмазный материал электронного качества попал

в санкционные списки и запрещен к поставкам на территорию России для промышленных предприятий и научных учреждений.

Общий объем годового производства синтетических алмазов (с учетом технических алмазов) в 2020 году оценивался в 7–12 млрд карат.

Последнее десятилетие объемы рынка росли на 10–15% в год: рост обеспечивался активным спросом со стороны отраслей строительства и высоких технологий. Области применения продукта в основном являются высокотехнологичные приборы и научные исследования:

- полупроводники, датчики, дозиметры, детекторы ионизирующих излучений, высоковольтные переключатели, окна для клистронов и гиротронов мегаваттной мощности, элементы конструкций в лампах бегущей волны;
- акустические системы, СВЧ-приборы акустоэлектроники;
- приборы рентгеновской дифракционной оптики и лазерная техника;
- теплоотводящие пластины для электронных приборов;
- алмазные электроды (для очистки питьевой воды);
- СВЧ-транзисторы;
- алмазные линзы, алмазные окна и кюветы, монохроматоры;
- алмазные иглы и кантилеверы для сканирующей зондовой микроскопии и создания наноструктур;
- ультра-нанокристаллические алмазные покрытия с контролируемой проводимостью.

Однако, несмотря на то, что алмаз является наиболее предпочтительным материалом для применения в высокотехнологичных областях промышленности, применение природных и синтетических алмазов ограничено сложностью их поверхностной обработки.

Искусственно выращенные алмазные пластины, полученные после разрезания слитка, обладают рядом нарушений, к которым относятся:

- наличие механически нарушенного слоя;
- неплоскостность и неплоскопараллельность сторон;
- изгиб и большой разброс по толщине.

Глубина механически нарушенного слоя является основной характеристикой качества обработки полупроводниковых пластин. Этот слой распространяется от обработанной поверхности в глубину объема полупроводникового материала. Общая толщина дефектного слоя зависит от способа обработки поверхности пластины. Причинами появления дефектного слоя являются упругие и пластические деформации, а также деформации разрушения, которые возникают в процессе обработки.



www.prombvk.ru

РОССИЙСКИЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ

12-14.04.2022

Специализированные выставки

- Машиностроение. Металлообработка
- Инновационный потенциал Уфы

ВДНХ ЭКСПО УФА



МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ЭНЕРГЕТИКИ
И ИННОВАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН



АДМИНИСТРАЦИЯ
ГОРОДСКОГО ОКРУГА г. УФА РБ



БАШКИРСКАЯ
ВЫСТАВОЧНАЯ
КОМПАНИЯ

 Мероприятия проводятся с учетом всех
требований Роспотребнадзора



ОРГКОМИТЕТ:
+7 (347) 246 41 80, 246 41 77
promexpo@bvkexpo.ru

Facebook / prombvk
Instagram / promexpoufa
#рпфуфа #промфорумуфа

Анализ существующих методов поверхностной обработки изделий из твердых хрупких материалов для изделий нанoeлектроники показал, что в настоящее время единственным универсальным и наиболее употребимым методом поверхностной обработки таких материалов является алмазoабразивная механическая обработка. Применяемая в изготовлении электронных компонентов на основе кремния, арсенида галлия и других традиционных материалов химико-механическая полировка (Chemical Mechanical Planarization, CMP) не может быть использована в случае прецизионной обработки поверхностей сверхтвердых материалов, так как ключевым фактором является химическое воздействие рабочей среды на поверхность. Хотя ввиду химической инертности алмаза и карбида кремния такой вид полировки малоэффективен, химическое воздействие на поверхность приводит к диффундированию неконтролируемых примесей в приповерхностный слой полируемого материала, что значительно затрудняет дальнейшее применение полированных пластин в микроэлектронике. С экономической точки зрения химико-механическая полировка в течение 4–5 ч в чистой комнате, а затем алмазная полировка в чистой комнате в течение получаса ведут к значительному удорожанию стоимости готовой подложки и делает ее неконкурентной по сравнению с подложкой зарубежных стран.

При традиционном способе обработки твердых хрупких материалов (в том числе кристаллов), которым является механическое шлифование свободным и связанным абразивом, получают заготовки с шероховатостью поверхности около 200 нм и нарушенным поверхностным и подповерхностным слоем.

Среди перспективных способов обработки анизотропных поверхностей и получения высококачественной поверхности твердых хрупких кристаллических минералов нанометрового рельефа является удаление поверхностного слоя в режиме квазипластичности, который является альтернативным традиционному механическому шлифованию.

Суть способа состоит в том, что при обработке кристаллического материала в определенном интервале контактных напряжений происходит не хрупкое разрушение, а пластичное удаление нанослоя обрабатываемого материала. Обработанная поверхность имеет нанометровый рельеф и практически не нарушенный подповерхностный слой.

Современные требования различных отраслей промышленности (микро-, нанoeлектроники, медицины) к качеству, а также к повторяемости выходных параметров обрабатываемых твердых материалов диктует необходимость автоматизации процесса обработки этих материалов с обязательным применением

диагностирования параметров этого процесса. Для растущих объемов применения высокотехнологичных изделий в области нанотехнологий требуется серийная обработка, которая может быть обеспечена автоматизацией процесса формирования поверхности в режиме квазипластичности. Режим квазипластичного удаления поверхностного слоя твердых хрупких минералов можно обеспечить при специальном подборе таких параметров, как усилие прижима и скорость движения инструмента параллельно поверхности кристалла, подвергаемой механическому воздействию.

В ранее проведенных исследованиях [9, 10] сделано предположение о том, что элементы способа квазипластичной поверхностной обработки могут быть реализованы практически на любом специализированном оборудовании при оснащении его дополнительными приспособлениями, обеспечивающими контролируемое усилие прижима и жесткость обрабатываемой системы. Возможна также автоматизация процесса [11].

Считая способ квазипластичности перспективным для обработки подложек из синтетического алмаза с получением заданных параметров по шероховатости поверхности и малоефективности подповерхностного слоя, стоит задача продолжить исследования этого способа и создания устройства или оснастки к действующим серийным шлифовальным станкам, воспроизводящим элементы квазипластичной обработки. Поскольку станок АН15ф4 с ЧПУ, на котором проводились эксперименты по отработке режимов квазипластичности, многофункциональный, многокоординатный и имеется в единичном экземпляре, для получения плоских поверхностей алмазных подложек не имеет смысла его воспроизводство в первоначальном виде.

Для осуществления прецизионной обработки в режиме квазипластичности планируется разработка конструкции и изготовление специальной оснастки к серийным шлифовальным станкам, позволяющей на серийном оборудовании достигать режима квазипластичной обработки с получением плоских поверхностей синтетического алмаза нанометровой шероховатости и минимальными нарушениями подповерхностного слоя, внесенными процессом обработки. Для крепления обрабатываемых подложек эффективно применение вакуумного удерживающего устройства, обеспечивающего равномерный прижим всей поверхности обрабатываемой подложки. Разрабатываемая оснастка обеспечит равномерный контролируемый прижим изделия к шлифовальному кругу, возможность изменения усилия прижима в процессе обработки, температурный и частотный контроль процесса обработки. После проведения исследований зависимости качества обработанных алмазов от технологических параметров (зернистость шлифовального круга (ШК),

**07-09
июня 2022**

Москва
ЦВК «Экспоцентр»
Павильон 8



АРСС

При поддержке:
Ассоциация развития
стального строительства



Российский союз
поставщиков
металлопродукции

7-я Международная
специализированная выставка

Металло Конструкции 2022



12+

Место проведения:



Генеральный
информационный партнер:



Организатор:



www.mc-expo.ru

+7 (495) 734-99-66

скорость вращения ШК, связки ШК коэффициента заполнения абразивных зерен в связке ШК, и др.), температурного фактора, усилия прижима, а также ряда других параметров будет выбран рациональный режим обработки и произведена доработка оснастки и дополнительных элементов к серийным шлифовальным станкам. Это позволит использовать специализированное оборудование (шлифовальные станки), оснатив их дополнительными элементами для получения подложек из синтетического алмаза, что значительно удешевит производственное получение больших партий таких подложек и ускорит массовый выпуск высокотехнологичных изделий (подложек для микроэлектроники и др.) на их основе. Развитие данной технологии предполагает:

- возможность обработки натурального и синтетического алмаза, карбида кремния и других материалов;
- возможность автоматизации отдельных процессов, а со временем и полного цикла обработки;
- возможность автоматизированного производства высокотехнологичных микроэлектронных, медицинских и эксклюзивных ювелирных изделий;
- возможность получения поверхности нанометровой шероховатости на этапе алмазного шлифования без химического травления в чистых комнатах;
- повышение конкурентоспособности продукции за счет повышения качества обработанной поверхности.

Осуществление этих исследований является тем более актуальным, поскольку в настоящее время в России предприятия по выпуску традиционных полупроводниковых подложек и конструкционных материалов для электроники практически прекратили свою деятельность, не выдержав конкуренции с зарубежными производителями, а широкое развитие производства алмазных подложек и высокотехнологичных алмазных изделий для микро- и оптоэлектроники обеспечивает технологический рывок для отечественной промышленности и новые перспективы развития ввиду уникальных возможностей предлагаемых алмазными материалами.

Очевидно, что исследования и разработка предлагаемой технологии, а также получение изделий из алмаза, лейкосапфира, карбида кремния, в том числе подложек для опто- и микроэлектроники и приборов на их основе, имеют не только технические, но и социальные последствия, связанные с повышением уровня жизни, созданием новых рабочих мест, оживлением предприятий электронной промышленности и смежников (химическая, машиностроительная, станкостроительная и другие отрасли промышленности).

Это создаст условия для формирования и развития новых направлений приборостроительной и атомной промышленности, авиационно-космической отрасли России на основе совершенно новых подходов – с использованием продвинутых современных технологий, что в перспективе позволит преодолеть один из существенных барьеров на пути модернизации экономики страны.

Литература

1. **Коньшин А. С.** Управление процессом шлифования для повышения производительности и точности при одновременной многоинструментальной обработке. Автореф. дис. канд. техн. наук. М.: ЭНИМС, 1987.
2. **Коньшин А. С., Сильченко О. Б., Сноу Б. Д.** Способ микрошлифования твердоструктурных материалов и устройство для его реализации. Патент РФ № 2165837 от 27.04.2001.
3. **Теплова Т. Б.** Поверхностная обработка твердых хрупких минералов в режиме квазипластичности // СТАНКОИНСТРУМЕНТ. 2021. № 1(022). С. 48–55.
4. **Теплова Т. Б.** Частотный анализ квазипластичной обработки и перспектива адаптивного управления для серийного производства высокотехнологичных изделий // СТАНКОИНСТРУМЕНТ. 2021. № 3(024). С. 58–65.
5. **Теплова Т. Б.** Исследование тепловых процессов при поверхностной обработке твердых хрупких минералов в режиме квазипластичности // СТАНКОИНСТРУМЕНТ. 2021. № 2(023). С. 74–80.
6. **Tallaire, et. al.** Growth of large size diamond single crystals by plasma assisted chemical vapour deposition: Recent achievements and remaining challenges // C. R. Physique, 14 (2013), 169–184.
7. **Umezawa H.** Recent advances in diamond power semiconductor devices // Materials Science in Semiconductor Processing, 78 (2018), 147–156.
8. **Bormashov V.S., et. al.** Thin large area vertical Schottky barrier diamond diodes with low on-resistance made by ion-beam assisted lift-off technique // Diamond & Related Materials, 75 (2017), 78–84.
9. **Теплова Т. Б.** Обоснование рациональных режимов шлифования алмазов при их огранке. Автореф. дис. канд. техн. наук. М.: МГУ, 2002.
10. **Теплова Т. Б.** Разработка научных основ создания технологии прецизионной обработки твердых хрупких минералов. Дис. на соиск. учен. степ. док. техн. наук. М.: ЭНИМС, 2009.
11. **Гридин О. М., Теплова Т. Б.** Прецизионная обработка поверхностного слоя твердых хрупких материалов в режиме квазипластичности. М.: МГУ, 2012. 211 с.

Автор

Панкратов Алексей Алексеевич – соискатель



21-23 ИЮНЯ
МОСКВА
РОССИЯ

2022

Место проведения:



ЛИТМАШ

Международная выставка литейных технологий, материалов и продукции

МЕТАЛЛУРГИЯ

Международная выставка металлургических технологий, процессов и металлопродукции

Специальная экспозиция



**ТРУБЫ
РОССИЯ
2022**



При поддержке
The Bright World of Metals

www.metallurgy-russia.ru
www.litmash-russia.ru

Металл-Экспо
Тел.: +7 (495) 734-99-66

Messe Düsseldorf GmbH
Тел.: +49 (0) 2 11/45 60-77 93



Влияние добавок мультиграфена на свойства изделий, спеченных из порошков нержавеющей и инструментальной стали

С. А. Ерёмин, В. Н. Аникин, А. Д. Рябцев,
П. М. Явтушенко, А. М. Колесникова, Е. Е. Бобрышева, Д. В. Руденко

По результатам исследования влияния добавки мультиграфена на свойства изделий, спеченных из порошков нержавеющей и инструментальной сталей методом горячего прессования, показано, что добавки мультиграфена повышают твердость на 10% и снижают пористость на 16%. Наличие мультиграфена активирует процесс залечивания крупной пористости за счет эффекта критического смачивания.

Ключевые слова:

спекание, нержавеющая сталь, инструментальная сталь, мультиграфен, электрохимия, порошок

УДК 539.232 | ВАК 05.16.09

DOI: 10.22184/2499-9407.2022.26.1.82.90

Введение

Графен, представляет собой материал с большой удельной поверхностью – $2630 \text{ м}^2/\text{г}$, и очень высокой механической прочностью [1–5], он применяется в качестве усиливающей добавки для повышения механических свойств материалов с металлической матрицей [6–9]. Графен – это двумерный наноматериал [10], обладающий комплексом уникальных свойств:

- высокой прочностью – модуль Юнга 1100 ГПа [11];
- электропроводностью – $200\,000 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ [12];
- теплопроводностью – $5\,000 \text{ Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$ [13].

Перспективным направлением является создание композитов «металл – графен», так как добавки графена в такие композиты повышают их свойства. Для улучшения свойств материалы, спеченные из металлических порошков, помимо графена, легируют металлическими, интерметаллическими или керамическими добавками [14–19]. Например, добавление 4 мас. % меди приводит к увеличению прочности на разрыв и предела текучести нержавеющей стали 316L

на 20,0% и 12,7% соответственно [14]. В другом случае [15] предел текучести силовых элементов из нержавеющей стали 316L увеличился с 250 до 350 МПа при добавлении олова в количестве 6 мас. %. В работе [19] было обнаружено, что нержавеющая сталь 316L с добавлением 5,0 мас. % частиц MoS_2 имеет повышенную твердость и предел прочности при растяжении.

Однако только добавки графена способны значительно повлиять на свойства нержавеющей стали: в работе [20] предел прочности и предел текучести композита «графен – медь/нержавеющая сталь» возросли практически в два раза – с 315 и 275 МПа до 548 и 455 МПа соответственно. Увеличение предела прочности и текучести композитов «графен – медь/нержавеющая сталь» объясняется эффективным распределением нагрузки и увеличением относительной плотности благодаря добавлению графена. Таким образом, графен обладает огромным потенциалом в качестве армирующего наполнителя для улучшения механических свойств стали (нержавеющей,

инструментальной), получаемой методом порошковой металлургии.

Из-за трудности равномерного распределения графена в порошках нержавеющей стали, исследованию по созданию композитов «нержавеющая сталь/графен» уделено мало внимания. Кроме того, графен реагирует с нержавеющей сталью при спекании [21]. Реакция уменьшает усиливающее влияние графена на механические свойства нержавеющей и инструментальной стали, что необходимо учитывать при подборе оптимального количества добавляемого графена.

В работе проведено исследование по влиянию добавок мультиграфена на свойства изделий из нержавеющей и инструментальной стали, спеченных методом горячего прессования.

Методы и материалы

Электрохимическое осаждение мультиграфена проводили из водного раствора сахарозы с добавлением серной кислоты. Более подробно электрохимический способ нанесения мультиграфена на порошок описан в работе [22]. Размер порошков определяли методом динамического рассеяния лазерного излучения (Mastersizer 3000), текучесть порошка определяли по времени просыпания порошка через воронку согласно ГОСТ 19440-94, насыпную плотность и плотность после утряски определяли с использованием волюмометра Скотта. Исследование структуры порошка проводили с использованием сканирующего электронного микроскопа Zeiss EVO MA10 и приставкой для элементного анализа Oxford Instruments, исследование структуры мультиграфена проводили с использованием просвечивающего электронного микроскопа Jeol JEM 2100. Образцы из порошков изготавливали методом горячего прессования при давлении 300 кг/см^2 и температуре спекания 1100°C в течение 15 мин. Поверхность пресс-формы и пуансонов предварительно обмазывали нитридом бора для предотвращения реакции со спекаемыми порошками.

Результаты и обсуждение

Перед нанесением графена из электролита на поверхность порошков исследованы их структуры и свойства. Внешний вид порошков марки ЭИ-914, ЭП-657, AISI 304L представлен на рис. 1.

Порошки всех марок имеют сферическую форму, что обусловлено методом их получения – газовой атомизацией. На поверхности порошков есть сателлиты, имеющие четкую сферическую форму, при этом их размер не превышает 2 мкм. Предположение о том, что крупные частицы на самом деле пористые, не лишено смысла, так как сателлиты размером не более 2 мкм могли образоваться в результате разрыва крупных частиц. Разрываются они потому, что давление газа в расплавленной частице больше, чем поверхностное натяжение частицы. На этот факт также

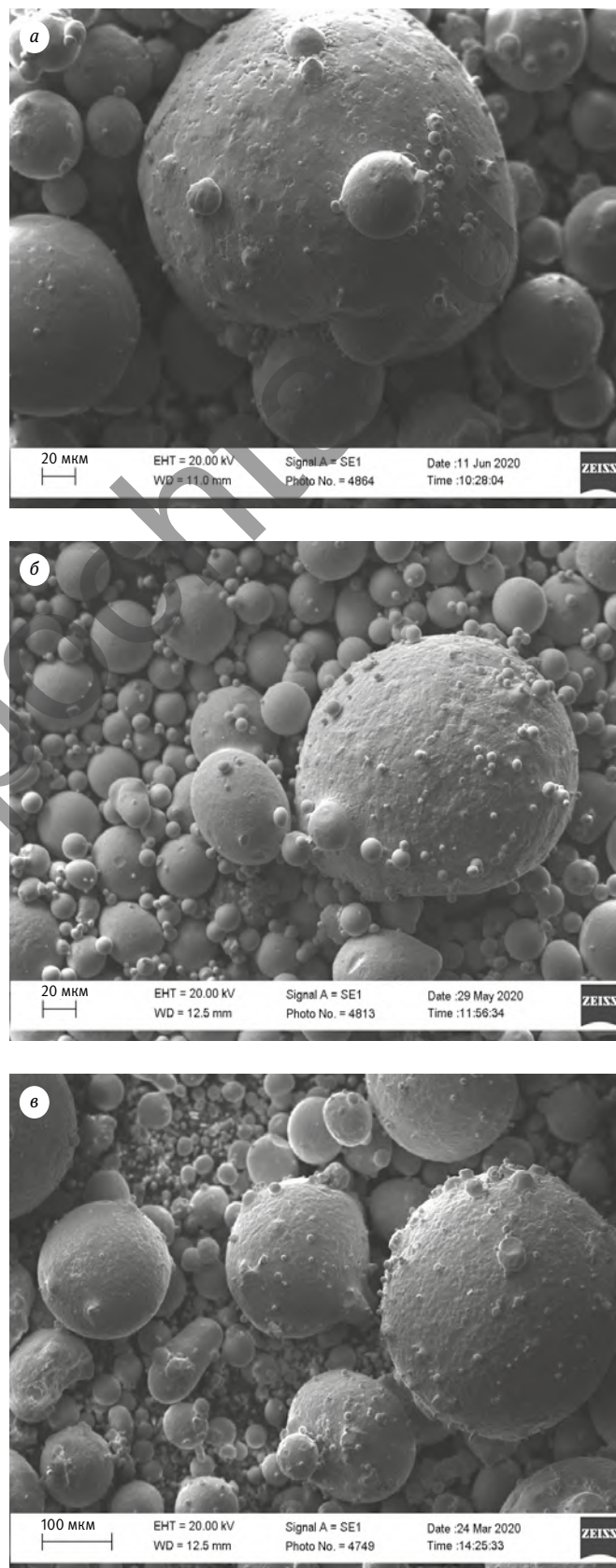


Рис. 1. Внешний вид исходных порошков: а – порошок ЭИ-914; б – порошок ЭП-657; в – порошок AISI 304L

указывает наличие отверстий в образце и трещиноватая структура частиц, через эти трещины происходил сброс давления, поэтому сателлитов мало.

Проводили исследование гранулометрического состава порошков методом динамического рассеяния лазерного излучения. В табл. 1 представлены результаты гранулометрического состава порошков. Элементный состав порошков представлен в табл. 2.

В табл. 3 приложены данные по насыпной плотности и плотности после утряски для всех порошков.

Внешний вид порошков, покрытых мультиграфеном представлен на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что мультиграфен хаотичным образом покрывает поверхность частиц. Чешуйки мультиграфена либо полностью лежат на частице порошка, либо краем. Отсутствие равномерности распределения графена вызвано отсутствием перемешивания порошка в процессе нанесения мультиграфена, в перспективе данная технология будет усовершенствована.

Чешуйки графена выделяли путем растворения металлического порошка и декантирования образовавшегося осадка. Проводили исследование чешуек графена с использованием просвечивающего электронного микроскопа, результат представлен на рис. 3.

На это же рисунке изображен внешний вид чешуйки мультиграфена. Видно большое количество складок, что говорит о небольшой толщине мультиграфеновой пленки – примерно 10–20 слоев. Темные участки – это частицы, которые остались после растворения металлического порошка для выделения мультиграфеновой пленки.

В табл. 4 приведены данные по насыпной плотности и плотности после утряски для порошков разных марок покрытых мультиграфеном.

Как видно из табл. 3 и 4, текучесть порошка увеличилась. Мультиграфеновые чешуйки очень гибкие, их гибкость позволяет чешуйкам расположиться по поверхности порошка во время его перемещения. Значение коэффициента трения по мультиграфену ниже, чем для порошка без покрытия мультиграфеном.

На рис. 4–6 представлены структуры полученных образцов из порошков без добавки мультиграфена и с добавкой.

Таблица 1. Результаты измерения средних размеров порошков

№ п / п	Марка порошка	Средний размер порошка, мкм
1	ЭИ-9149	67
2	ЭП657	45
3	AISI 304L	186

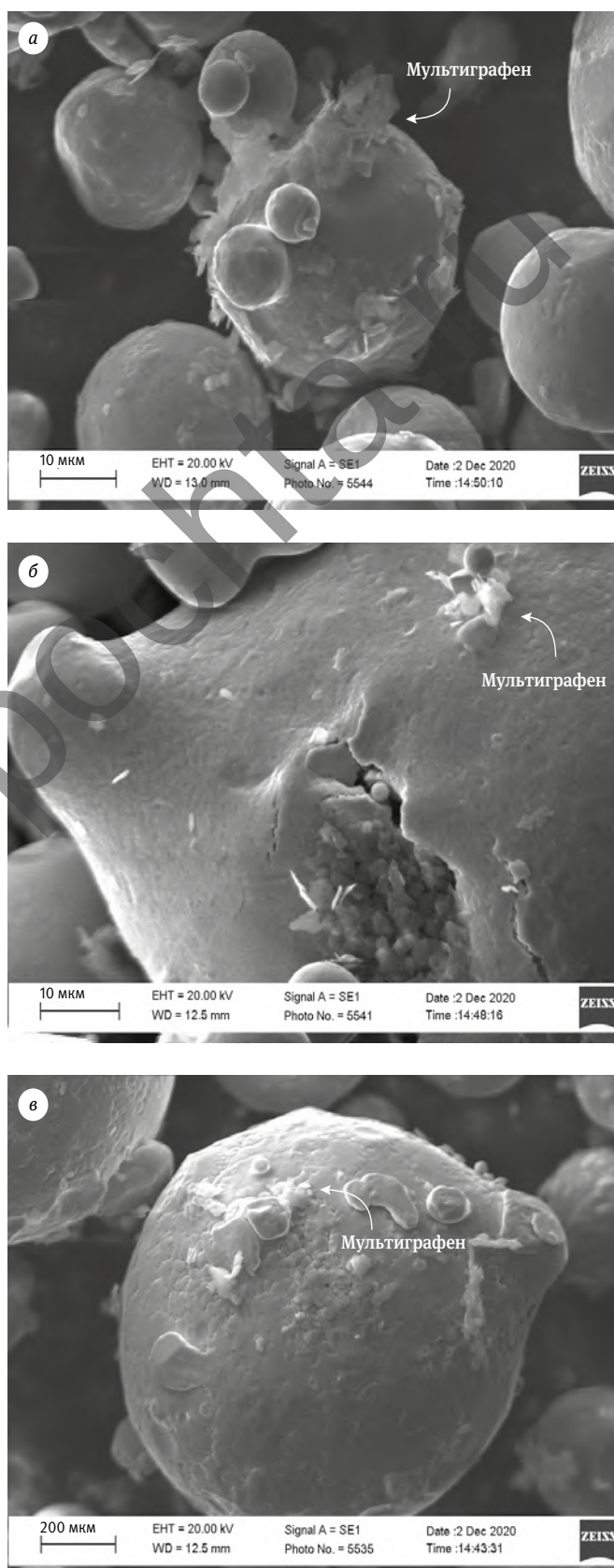


Рис. 2. Внешний вид порошков, покрытых мультиграфеном: а – порошок ЭИ-914; б – порошок ЭП-657; в – порошок AISI 304L

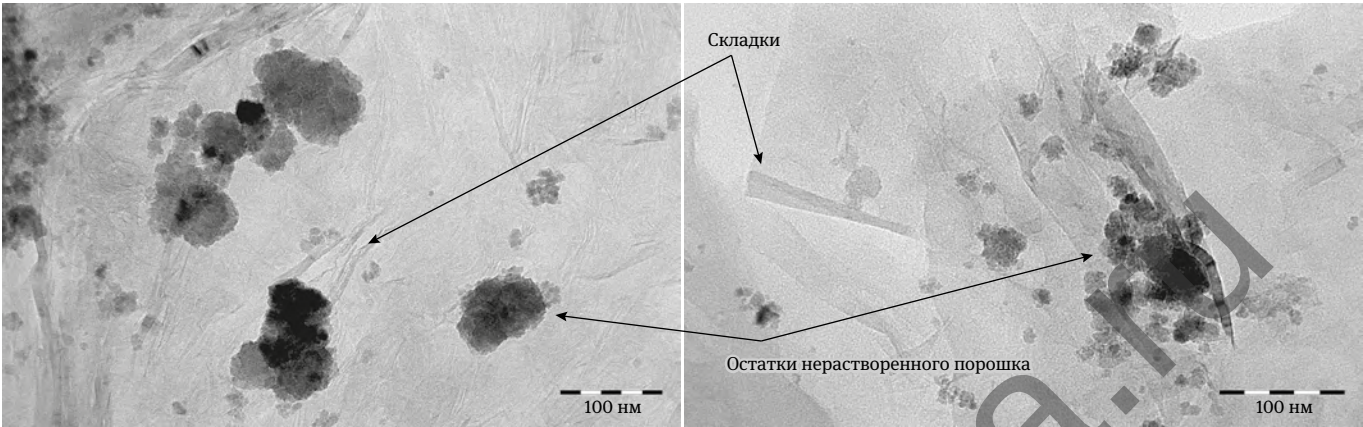


Рис. 3. ПЭМ чешуйки мультиграфена

В основном образцы – это припекшиеся порошинки с поровым пространством между ними. Для порошка марки ЭП 657 данный режим горячего прессования (300 кг/см^2 ,

1100°C) был наиболее предпочтительным, так как на поверхности практически отсутствуют поры, а образец представляет собой монолит.

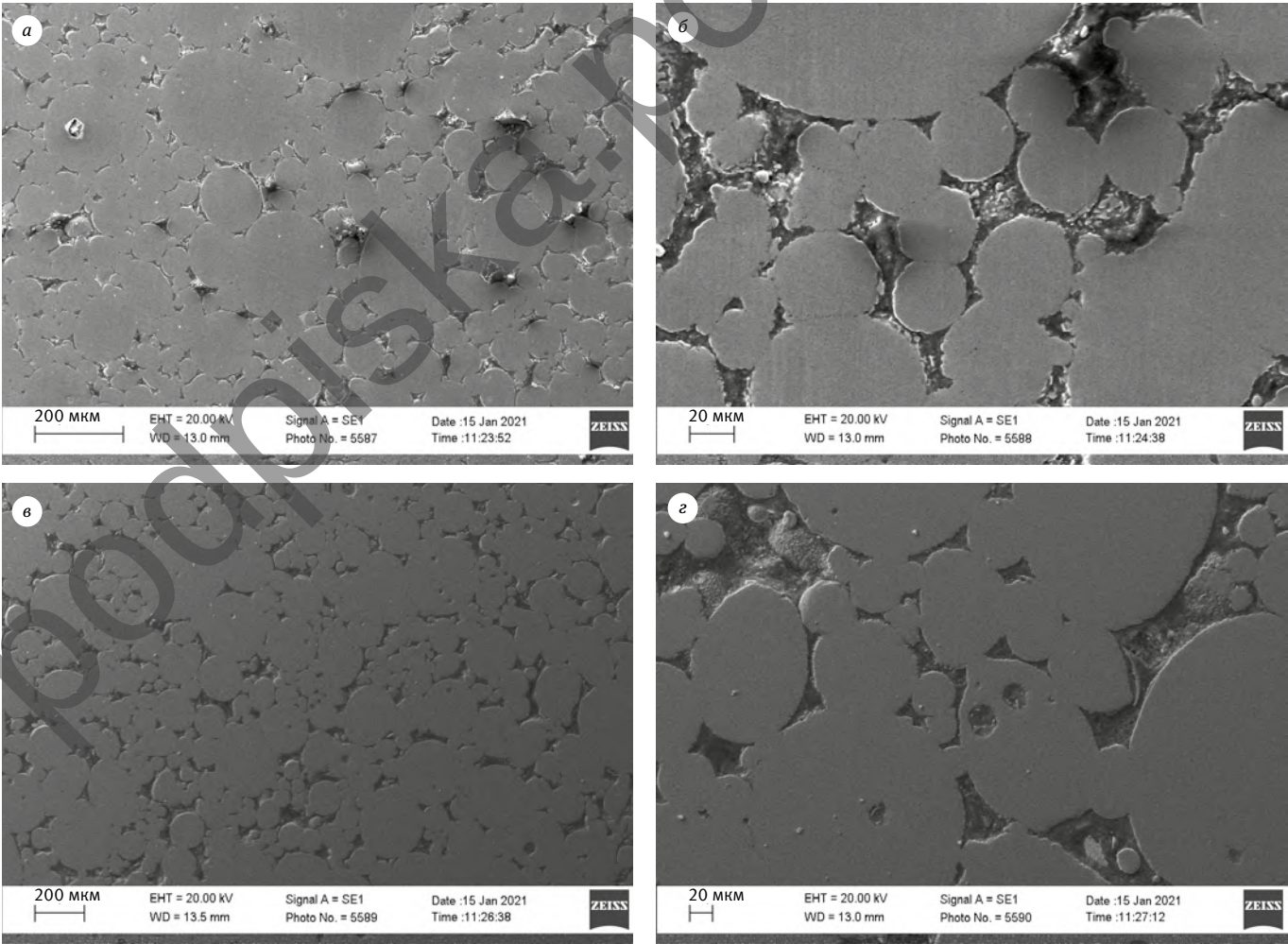


Рис. 4. Поверхность спеченных образцов: а, б – AISI 304L; в, г – AISI 304L + мультиграфен

Таблица 2. Элементный состав порошков

ЭИ-914		ЭП-657		AISI 304L	
Элемент	Вес. %	Элемент	Вес. %	Элемент	Вес. %
Cr	18,83	V	2,03	Cr	20,29
Fe	69,54	Cr	3,95	Fe	71,44
Ni	11,62	Fe	72,80	Ni	8,26
Cr	18,83	Co	8,02		
		Mo	2,85		
		W	10,35		

С использованием программного обеспечения ImageJ был проведен расчет пористости образцов, по полученным выше фотографиям также была измерена плотность

Таблица 3. Текучесть и насыпная плотность порошков нержавеющей и инструментальной стали разных марок

Порошок	Насыпная плотность, г/см ³	Текучесть, г/с	Плотность после утряски, г/см ³
ЭИ-914	5,19	4,05	5,78
ЭП-657	5,42	5,42	6,00
AISI 304L	5,07	4,23	5,67

образцов методом гидростатического взвешивания. Результаты измерения пористости и плотности образцов представлены в табл. 5.

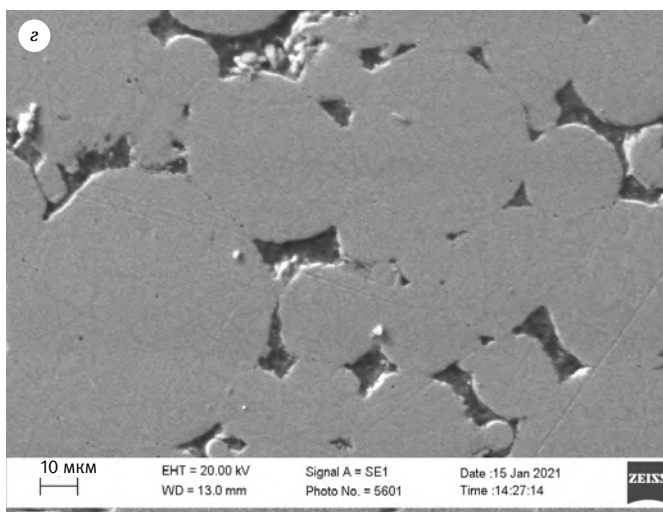
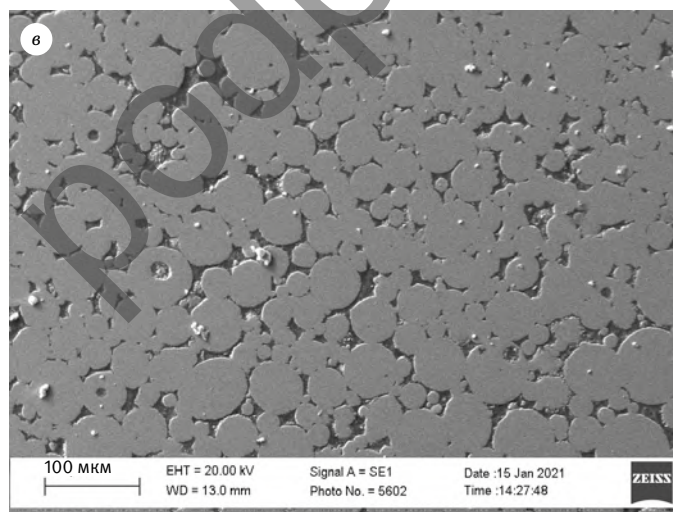
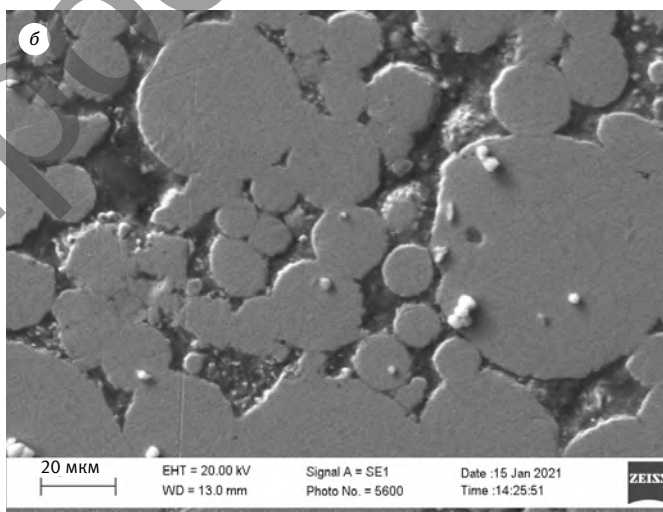
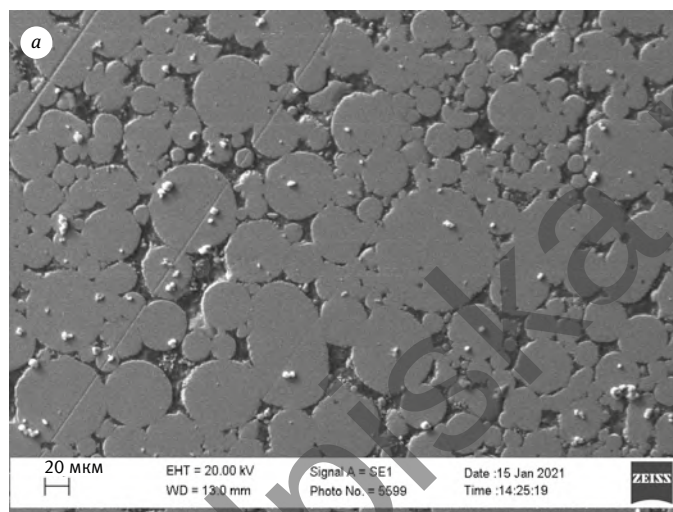


Рис. 5. Поверхность спеченных образцов: а, б – ЭИ-914; в, г – ЭИ-914 + мультиграфен



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



Цена 2 600 руб.

Ян Гибсон, Дэвид Розен, Брент Стэкер

ТЕХНОЛОГИИ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА. Трехмерная печать, быстрое прототипирование и прямое цифровое производство

Перевод с англ. книги издательства «Springer»
под ред. д.ф.-м.н., проф. И.В. Шишковского
М.: ТЕХНОСФЕРА, 2020. – 648 с. ISBN 978-5-94836-447-6

Предисловие к русскому изданию

Я был очень рад, когда услышал, что профессор Игорь Шишковский будет научным редактором русского издания нашей монографии. Обладая многолетним и богатым опытом в данной области, этот известный ученый и педагог сможет гарантировать как техническую точность, так и ясность изложения. Поскольку русский язык является одним из самых распространенных языков в мире, этот перевод позволит значительно расширить аудиторию, которая сможет впервые получить доступ к данной информации. Я надеюсь, что исследователи, студенты и преподаватели найдут эту книгу прекрасным дополнением к своей коллекции, и что она расширит их познания в быстро развивающихся областях аддитивных технологий.

Брент Стэкер
профессор, университет Луисвилля (Кентукки, США)

Содержание

Предисловие

Глава 1. Введение и описание основных принципов

Глава 2. Развитие технологий АП

Глава 3. Общая последовательность процесса АП

Глава 4. Процесс фотополимеризации в ванне

Глава 5. Плавление порошков в сформированном слое

Глава 6. Экструзионные системы

Глава 7. Распыление материала методом струйной печати

Глава 8. Распыление связующего для струйной печати

Глава 9. Процессы ламинирования листовых (слоистых) материалов

Глава 10. Процессы направленного энерговклада

Глава 11. Технологии прямой записи

Глава 12. Преимущества бюджетных систем АП

Глава 13. Руководство по выбору процесса

Глава 14. Постобработка

Глава 15. Задачи программного обеспечения в АП

Глава 16. Прямое цифровое производство

Глава 17. Проектирование для АП

Глава 18. Быстрое изготовление инструмента

Глава 19. Применения АП

Глава 20. Возможности для бизнеса и будущее АП

**ИНФОРМАЦИЯ О НОВИНКАХ:
www.technosphaera.ru**



Как заказать наши книги?

По почте: 125319, Москва, а/я 91
По телефону: (495) 234-01-10
E-mail: knigi@technosphaera.ru
sales@technosphaera.ru

Таблица 4. Текучесть и насыпная плотность порошков, покрытых мультиграфеном

Порошок	Насыпная плотность, г/см ³	Текучесть, г/с	Плотность после утряски, г/см ³
ЭИ-914	5,19	4,25	5,78
ЭП-657	5,42	5,75	6,00
AISI 304L	5,07	4,78	5,67

Результаты измерения пористости показывают, что в случае добавки мультиграфена она ниже, чем в образцах без добавки. Соответственно, там где ниже пористость – выше

Таблица 5. Результаты пористости и плотности образцов

№ п/п	Материал	Плотность, г/см ³	Пористость открытая, %
1	AISI 304L исх.	6,60	9,68
2	AISI 304L + мультиграфен	6,80	9,25
3	ЭИ-914 исх.	6,40	12,36
4	ЭИ-914 + мультиграфен	6,61	9,30
5	ЭП-657 исх.	7,03	8,72
6	ЭП-657+ мультиграфен	7,60	9,02

плотность. Таким образом, добавки мультиграфена позволяют снизить пористость и повысить плотность спекаемых изделий. Результаты измерения твердости образцов

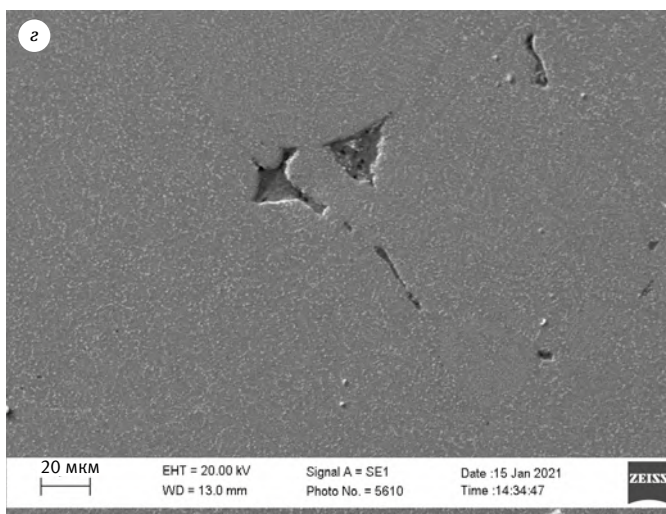
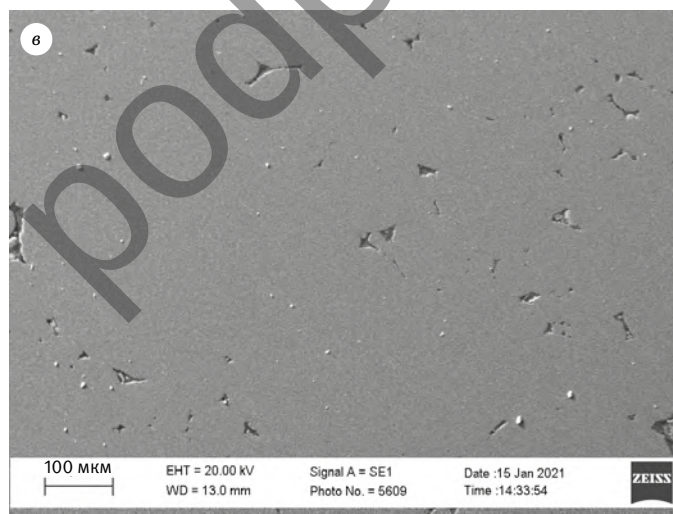
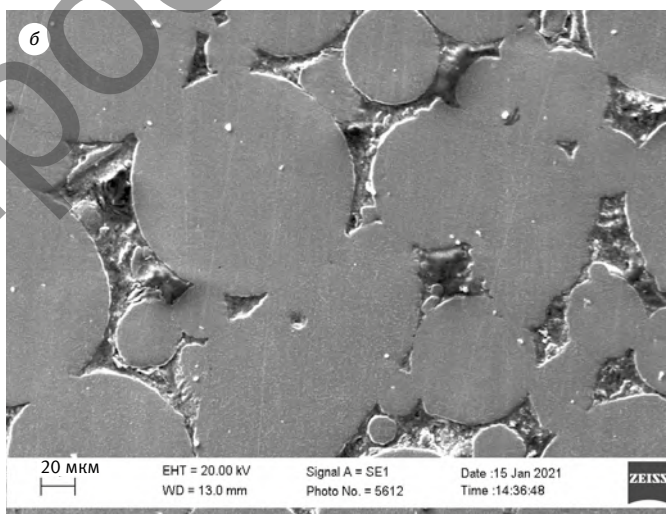
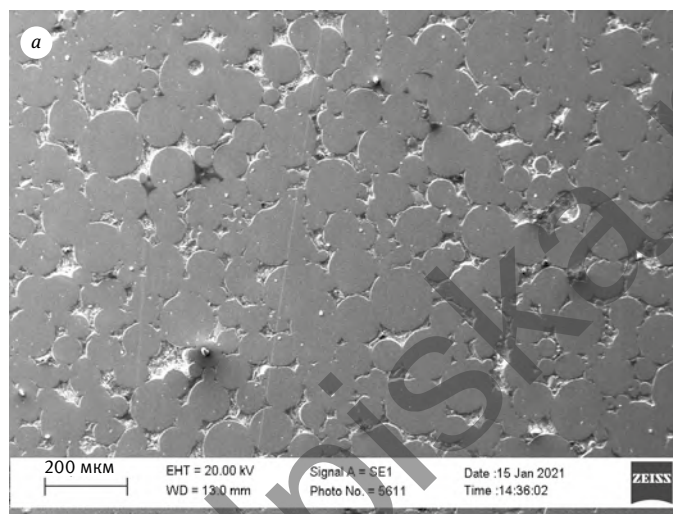


Рис. 6. Поверхность спечённых образцов: а, б – ЭП-657; в, г – ЭП-657+ мультиграфен

ЭЛЕКТРОНИКА

НАНОИНДУСТРИЯ

ФОТОНИКА

ПЕРВАЯ
МИЛЯ

АНАЛИТИКА

СТАННОИНСТРУМЕНТ

ИНФОПРОСТРАНСТВО
ФЕССИОНАЛОВ



ТЕХНОСФЕРА

Мы на  YouTube



Подписывайтесь

Таблица 6. Результаты измерения твердости

№ п / п	Марка	Среднее значение, HRB
1	AISI 304L исх.	76,3
2	AISI 304L + мультиграфен	85,0
3	ЭИ-914 исх.	76,3
4	ЭИ-914 + мультиграфен	82,0
5	ЭП-657 исх.	87,0
6	ЭП-657 + мультиграфен	96,7

по Роквеллу представлены в табл. 6. Измерения проводили по HRB, используя стальной шарик.

Наличие мультиграфена в образцах позволило повысить твердость образцов, что вызвано снижением пористости и повышением плотности при спекании, а также за счет образования более твердых фаз в результате взаимодействия с мультиграфеном.

Мультиграфен снижает температуру эвтектики, поэтому процессы спекания в его присутствии идут с жидкой фазой. Основным составляющим элементом порошков является железо. Железо, растворяя углерод, образует эвтектику, таким образом, внутри образца идет жидкофазное спекание в микрообъеме (в поровом пространстве).

На рис. 7 представлена схема участия мультиграфена в процессе спекания.

Мультиграфен обладает эффектом полного смачивания. Таким образом, образующаяся жидкая фаза, соприкасаясь с поверхностью мультиграфена, быстро продвигается по поровому пространству, заполняя его. В этой связи мультиграфен, в сравнении с графеном, является более предпочтительным, так как часть его слоев уходит на растворение в железе, а остальная, которая еще не растворилась,

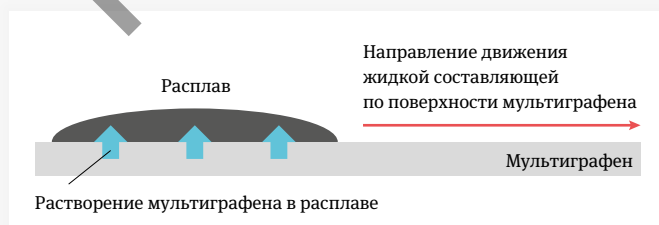


Рис. 7. Механизм влияния мультиграфена в процессе спекания

способствует заполнению пористого пространства сплавом. За счет растворения графена в порошке металла активируются диффузионные процессы внутри зерна, о чем свидетельствуют отсутствие пор внутри спекаемых частиц порошка, что хорошо заметно на рис. 5.

Выводы

1. Добавки мультиграфена при спекании изделий из порошков нержавеющей и инструментальной стали позволяют снизить пористость изделий на 16%, а прочность повысить на 16%;
2. Наличие мультиграфена при спекании порошков из нержавеющей и инструментальной стали приводит к снижению температуры эвтектического превращения и активирует диффузионные процессы посредством эффекта критического смачивания, что снижает крупную пористость в образцах;
3. Электрохимическим способом получен мультиграфен толщиной 10–20 слоев, однако для его равномерного распределения требуется обеспечить перемешивание порошка в электролите.

Литература

1. **Novoselov K. S., Geim A. K., Morozov S.V. et al.** Electric field effect in atomically thin carbon films // Science. 2004. V. 306. PP. 666–9.
2. **Lee C., Wei X. D., Kysar J. W. et al.** Measurement of the elastic properties and intrinsic strength of monolayer graphene // Science. 2008. V. 321. PP. 385–91.
3. **Porwal H., Grasso S., Reece M. J.** Review of graphene ceramic matrix composites // Advances in Applied Ceramics. 2013. V. 112. PP. 443–54.
4. **Balandin A. A., Ghosh S., Bao W. et al.** Superior thermal conductivity of single layer graphene // Nano Letters. 2008. V. 8. PP. 902–7.
5. **Tian W. M., Li S. M., Wang B. et al.** Graphene-reinforced aluminum matrix composites prepared by spark plasma sintering // International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials. 2016. V. 23. PP. 723–9.
6. **Hwang J., Yoon T., Jin S. H. et al.** Enhanced mechanical properties of graphene / copper nanocomposites using a molecular-level mixing process // Advanced Materials. 2013. V. 23. PP. 6724–9.
7. **Chu K., Jia C.** Enhanced strength in bulk graphene-copper composites // Physica Status Solidi. 2014. V. 211. PP. 184–90.
8. **Shin S. E., Bae D. H.** Deformation behavior of aluminum alloy matrix composites reinforced with few-layer graphene // Composites Part A. 2015. V. 78. PP. 42–7.
9. **Hu Z., Tong G., Lin D. et al.** Laser sintered graphene nickel nanocomposites // Journal of Material Processing Technology. 2016. V. 231. PP. 143–50.

10. **Katsnelson M. I.** Graphene: Carbon in Two Dimensions // Cambridge University Press. 2012. V. 366. PP. 67–68.
11. **Bunch J. S.** Electromechanical Resonators from Graphene // Sheets Science. 2007. V. 315. P. 490.
12. **Lin Y., Valdes-Garcia A., Han S. et al.** Wafer-Scale Graphene Integrated Circuit // Science. 2011. PP. 1294–1297.
13. **Zuev Y., Chang W., Kim P.** Thermoelectric and magnetothermoelectric transport measurements of graphene // Physical Review Letter. 2009. V. 102. PP. 96–107.
14. **Coovattanachai O., Tosangthum N., Morakotjinda M. et al.** Performance improvement of P/M 316L by addition of liquid phaseforming powder // Material Science and Engineering. 2007. V. 5. PP. 445–446.
15. **Serafini F. L., Peruzzo M., Krindges I. et al** Microstructure and mechanical behavior of 316L liquid phase sintered stainless steel with boron addition // Materials Characterization. 2019. V. 64. PP. 152–253.
16. **Xiao Z., Ke M., Chen W. et al.** Warm compacting behavior of stainless steel powders // Transaction of Nonferrous Metals Society of China. 2004. V. 14. PP. 56–61.
17. **Lin S., Xiong W.** Microstructure and abrasive behaviors of TiC-316L composites prepared by warm compaction and microwave sintering // Advanced Powder Technology. 2012. V. 419. PP. 23–25.
18. **Abenojar J., Velasco F., Bautista A. et al.** Atmosphere influence in sintering process of stainless steel matrix composites reinforced with hard particles // Composites Science and Technology. 2003. V. 63. PP. 69–79.
19. **Farid A., Liaqat A., Feng P. Z. et al.** Enhanced sintering, microstructure evolution and mechanical properties of 316L stainless steel with MoSi₂ addition // Journal of Alloys Compounds. 2011. V. 7. PP. 87–94.
20. **Li Zhiqiang, Ni Hongwei, Chen Zhong et al.** Enhanced tensile properties and corrosion resistance of stainless steel with copper-coated graphene fillers // Journal of Materials Research and Technology. 2019. V. 9. PP. 1–9.
21. **Ozherelkov D. Y., Eremin S. A., Anikin V. N. et al.** On the mechanism of electrochemical deposition of graphene on Al foils and AlSi10MgCu particles // Materials Chemistry and Physics. 2021. V. 267. P. 124673.

Работа выполнена в рамках Постановления Правительства РФ от 12 декабря 2019 года № 1649 «Об утверждении Правил предоставления субсидий из федерального бюджета российским организациям на компенсацию части затрат на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по современным технологиям в рамках реализации такими организациями инновационных проектов». Наименование проекта «Организация мелкосортного производства заготовок из сложнолегированных сталей, сплавов и тугоплавких материалов, полученных методом центробежного электронно-лучевого литья и обработанных графеном».

Авторы

Ерёмин Сергей Александрович – кандидат технических наук, ассистент, заведующий лабораторией ФГУП ВНИИТС «Твердые сплавы и сверхтвёрдые материалы»

Аникин Вячеслав Николаевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий научно-технологическим центром ФГУП ВНИИТС

Рябцев Анатолий Данилович – доктор технических наук, профессор, директор ЦНТИИР ПАО «Русполимет»

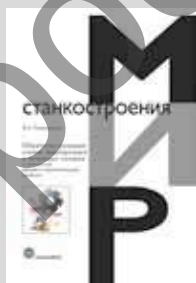
Явтушенко Павел Михайлович – начальник управления инновационного и технического развития ПАО «Русполимет»

Колесникова Анастасия Михайловна – магистр НИТУ МИСиС

Бобрышева Екатерина Евгеньевна – магистрант НИТУ МИСиС

Руденко Денис Валерьевич – магистрант НИТУ МИСиС

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



ОБРАБОТКА РЕЗАНИЕМ СТАЛЕЙ, ЖАРОПРОЧНЫХ И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ С УЧЕТОМ ИХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ Райхельсон В. А.

В книге освещены основные виды механической обработки резанием современных конструкционных сталей, жаропрочных и титановых сплавов лезвийными инструментами: точение, строгание, сверление, фрезерование, протягивание, разрезка заготовок и прорезка пазов.

Книга содержит большой научно-практический и справочный материал, рассчитан на инженерно-технических работников предприятий машиностроения, авиакосмической отрасли, энерго- и автостроения, оборонной промышленности. Она также послужит учебным пособием для студентов и преподавателей высших и средних учебных заведений машиностроительных специальностей.

Цена 1210 руб.

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2020. – 508 с.,
ISBN 978-5-94836-476-6

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; knigi@technosphera.ru, sales@technosphera.ru

Развитие направления «Аддитивные технологии» в системе довузовской подготовки Опыт использования CAD/CAM/CAPP/ADDM^{*}

Л. Ю. Дарьина

Предложена методика использования интегрированной системы CAD / CAM / CAPP/ADDM 9.0 в качестве универсального инструмента решения задачи развития политехнического образования в сфере общего и дополнительного образования.

Ключевые слова:

аддитивные технологии, субтрактивные производственные процессы, политехническое образование

На исходе второго десятилетия 21 века одним из основных факторов, тормозящих развитие промышленности России, остается пресловутый «кадровый голод» – нехватка высокопрофессиональных кадров. Проблема постоянно входит в повестку отраслевых конференций и семинаров, дискуссий в правительстве и т. п., но ее актуальность не снижается. Эксперты традиционно выделяют несколько реальных причин происходящего:

- несовершенство системы профессионального образования;
- недостаток учреждений среднего профессионального и высшего образования политехнической направленности;
- недостаток высокопрофессиональных преподавателей в этих учреждениях.

Но на самом деле проблема политехнической сферы российского профессионального образования кроется в несовершенстве федерального государственного образовательного стандарта (ФГОС), не обеспечивающего формирование необходимого уровня подготовки абитуриентов учреждений СПО и вузов для успешного освоения программ профессиональной подготовки.

ФГОС не предусматривает дисциплин, обеспечивающих комплексное развитие компетенций обучающихся, которое позволило бы им делать осознанный выбор профессии политехнической направленности.

Решить эту проблему силами только учреждений дополнительного образования невозможно, поскольку это потребовало бы самостоятельного выстраивания целостной системы знаний из получаемых учащимися разрозненных знаний, умений и навыков.

Даже если учреждение общего образования имеет в своем составе структурные подразделения дополнительного образования, по-прежнему остается очень много не решенных вопросов: чему обучать, какие использовать методические материалы, на какой материальной базе реализовывать практическую часть образовательного процесса.

Одним из решений, на наш взгляд, могла бы стать межпредметная интеграция образовательных программ общего и дополнительного образования с применением современных средств автоматизации проектирования и изготовления изделий.

Проблему нехватки методических материалов можно хорошо проиллюстрировать анализом двух распространенных запросов в произвольной поисковой системе: «лабораторные работы по инженерной графике для школьников» и «лабораторные работы по 3D-моделированию для школьников».

В первом случае результатом станет большое количество лабораторных работ по черчению и моделированию всевозможных элементарных деталей: пластин, прокладок, планок, опор, корпусов, крышек, валов и т. д. (рис. 1). А во втором – красочный коллаж из фотографий детей вместе с преподавателями в лучшем случае сидящих за компьютерами и программирующих роботов из конструкторов «Лего»,

^{*} На правах рекламы.



Рис. 1. Типичный ответ на запрос «лабораторные работы по инженерной графике для школьников»



Рис. 2. Типичный ответ на запрос «лабораторные работы по 3D-моделированию для школьников»

в худшем – находящихся на обзорной экскурсии в лабораториях, оснащенных 3D-принтерами (рис. 2).

Специалисты компании ADEM, специализирующиеся в регионах на довузовской подготовке учащихся, считают оба эти подхода неэффективными и, соответственно, неприемлемыми.

Еще одна неясная проблема системы общего и дополнительного образования – следование «модным» промышленным тенденциям. В начале 2010-х годов такими модными темами стали нанотехнологии и робототехника. С этой точки зрения рассматривались вопросы грантовой поддержки проектов, предусматривающих приобретение оборудования, что наложило отпечаток на оснащение материальной базы образовательных учреждений.

Группа компаний ADEM в регионах поддерживает сообщества образовательных учреждений, способные организовать сетевое взаимодействие лабораторий сквозного проектирования с целью обеспечения всестороннего обучения школьников.

Мы считаем, что оптимальным универсальным инструментарием решения задачи развития политехнического образования в сфере общего и дополнительного образования является академическая версия отечественной интегрированной системы CAD / CAM / CAPP ADEM 9.0, бесплатно распространяемая для использования в образовательных целях, как в учреждениях образования, так и индивидуально педагогами и учащимися.

Специалистами группы компаний ADEM разрабатываются лабораторные работы, которые могут быть использованы даже в работе с обучающимися начальной школы. Выполнение этих работ преследует как прагматические, так и общеобразовательные цели:

1. Ученики начальной школы знакомятся с новейшими разработками в сфере моделирования и изготовления изделий на примере, понятном любому ребенку, что способствует мотивации учащихся к изучению всех необходимых дисциплин, получению и накоплению практических навыков.
2. Обучающиеся 5–8 классов формируют целостное представление как о предмете, модель которого строят,

свойствах объектов окружающего мира, являющихся прототипами модели, так и о неразрывных связях предметных дисциплин, изучаемых ими изолированно (математика, физика, природоведение, биология, химия и т. д.). Как следствие использования многоуровневой интеграции у обучающихся формируется зона ближайшего развития, позволяющая в последующие годы многократно ускорить процессы обучения по любому из выбранных направлений.

3. Обучающиеся 9–11 классов в результате выполнения работ систематизируют полученные ранее знания таких предметных областей, как математика и информатика, естественно-научные дисциплины, технология, и восполняют пробелы в тех или иных разделах фундаментальных дисциплин, используя широкие возможности CAD / CAM / CAPP системы ADEM 9.0.

В работе с учреждениями общего и дополнительного образования особый фокус делается на аддитивных технологиях и их применении в сфере общего образования. Сегодня даже у школьников 5–6 классов термин «аддитивные технологии» на слуху, поскольку эта тематика поддерживается многочисленными целевыми программами федерального, регионального и муниципального уровней.

Изобилие материалов, представленных на доступных электронных ресурсах, предоставляет практически безграничные возможности новейших технологий, не привлекая внимания к их уязвимым местам.

Очень важно не допустить перекаса в формирующихся профессиональных представлениях учащихся, методически правильно проводить постоянное сравнение аддитивных технологий (подразумевает постройку объектов за счет добавления необходимого материала) и традиционных методов механического производства и обработки – так называемых субтрактивных (при субтрактивных производственных процессах, например при металлообработке, берется цельная заготовка, которая приводится в нужную форму путем последовательного удаления части материала).

В процессе обучения необходимо не абсолютизировать 3D-сканирование как метод, «позволяющий в несколько раз

сократить время, затрачиваемое на создание модели», поскольку не учитывается возможность изменения и/или корректировки полученной модели, а понятие «параметризованная модель» отсутствует как таковое.

Наглядным примером сравнительного анализа использования субтрактивных и аддитивных технологий является лабораторная работа «Синий махаон» (Синий махаон – так часто называют самую крупную дневную бабочку России). В данной лабораторной работе реализация декоративного изделия «Синий махаон» рассмотрена в последовательности:

- изучение биологического прототипа декоративного изделия – дневной бабочки Синий махаон;
- изучение сборной деревянной модели «Бабочка»;
- построение 3D-модели в CAD / CAM / CAPP-системе ADEM 9.0;
- создание техпроцесса для изготовления деталей на фрезерном станке RH-200;
- сохранение 3D-модели в формате STL;
- получение файла в формате gcode в слайсере CURA;
- импорт файла в формате gcode в программное обеспечение Repetier-Host, управляющее 3D-принтером Magnum Education;
- 3D-печать декоративного изделия.

Вне зависимости от выбора способа реализации изделия в материале (аддитивными или субтрактивными методами) первостепенная задача – это создание 3D-модели в CAD / CAM-системе с возможностью проверить корректность построения (все ли образующие тело поверхности замкнуты, является ли тело единым объектом и т.д.). Сборная модель бабочки и раскладка плоских деталей для построения техпроцесса изготовления изделия представлены на следующих скриншотах (рис. 3).

Изготовление изделия из разных заготовок на основании одной и той же модели позволяет учащимся на практике познать различия свойств материалов и областей их применения. Модель рассчитана на толщину материала 3 мм, однако из фанеры и оргстекла этой толщины получаются совершенно разные изделия. Соответственно, при сборке деталей, вырезанных из фанеры, мы получим деревянную бабочку, которая впоследствии может быть художественно расписана, а из оргстекла – прозрачную бабочку как, например, декоративный компонент ночника.

Используя уже построенные контуры деталей бабочки, можно создать модель для реализации другого декоративного изделия – брошки или заколки. В этом случае изготовление декоративного изделия «Синий махаон» осуществляется

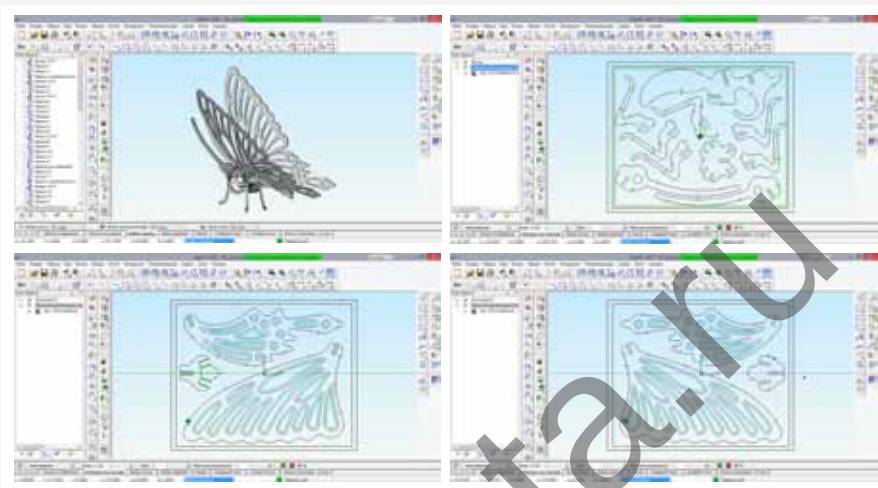


Рис. 3. Сборная модель бабочки

с применением аддитивных технологий на 3D-принтере Magnum Education, который использует технологию послойного наплавления материала (FDM). Рабочее поле 230×210 мм; высота области печати – 235 мм; экструдер с выходным диаметром сопла 0,3 мм. На рис. 4 представлены этапы преобразования ранее построенных контуров сборной конструкции в модель нового изделия.

В соответствии с санитарными нормами на уроках в учреждениях общего и дополнительного образования разрешается использовать только один вид пластика – полилактид (PLA). Это биосовместимый материал, нетоксичный при нагреве, не имеющий резкого запаха и безопасный в использовании. Материал поставляется на катушках, имеет 16 базовых цветов, однако полная палитра возможных оттенков достаточно велика, в том числе есть полупрозрачные и прозрачные PLA.

Наиболее органичным переходом от плоско-объемного моделирования к темам создания моделей сложных форм является работа с телами вращения. Одна из классических задач – это моделирование и изготовление шахматных фигур, ее решение также представлено в виде лабораторной работы, которая выполняется с проведением сравнительного анализа применения субтрактивных и аддитивных технологий.

Методы создания изделий рассматриваются с обязательным сравнением трудозатрат, необходимости дополнительных построений и/или оснастки и крепежа, полученный результат оценивается с точки зрения технологической точности и эстетической привлекательности.

Проактивная демонстрация аддитивных технологий требует выбора таких изделий, которые сложно или невозможно изготовить иными. К такому типу относятся изделия с отрицательным уклоном поверхности, рельефной боковой поверхностью или гибкие конструкции.

Удачным примером, сочетающим все перечисленные преимущества аддитивных технологий, являются новогодние

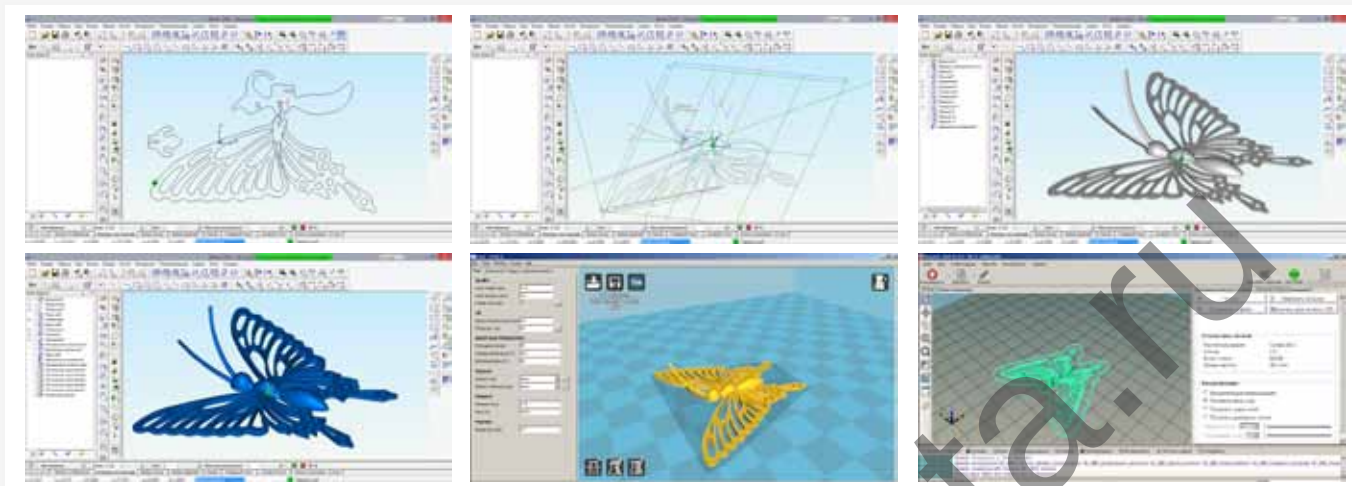


Рис. 5. Этапы преобразования ранее построенных контуров сборной конструкции в модель нового изделия

украшения. Елочные шары могут быть как причудливо ажурными, так и представлять собой полую сферу с тематическим рельефом по выбору учащегося. И в том и в другом случае интересен как процесс моделирования, так и процесс подбора параметров слайсера для того, чтобы геометрия изделий не искажалась при 3D-печати.

Обсуждение специалистами учреждений образования различных уровней предлагаемых лабораторных работ приводит к стимулированию разработки методических материалов

по данной тематике, что в свою очередь проявляется увеличением количества и повышением качества конкурсных работ учащихся и их педагогов, принимающих участие в ежегодном открытом региональном конкурсе «Инженерная компьютерная графика и применение ее в производстве».

Автор

Дарьина Лариса Юрьевна –

генеральный директор ООО «ЛД-Факториал»



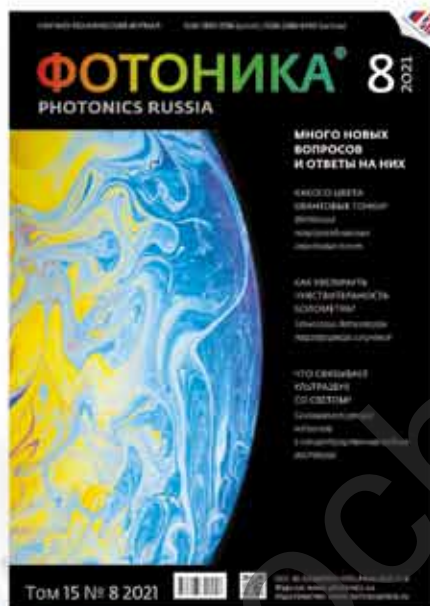


ТЕХНОСФЕРА
РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

100% ГАРАНТИЯ
ПОЛУЧЕНИЯ ВСЕХ НОМЕРОВ



Стоимость 2200 р. за номер
Периодичность: 10 номеров в год
www.electronics.ru



Стоимость 1430 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.photonics.ru



Стоимость 1430 р. за номер
Периодичность: 6 номеров в год
www.j-analytics.ru

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ

www.technosphere.ru



Стоимость 1056 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.lastmile.ru



Стоимость 1287 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.nanoindustry.ru



Стоимость 1716 р. за номер
Периодичность: 4 номера в год
www.stankoinstrument.ru

**15–21 АВГУСТА
ПАТРИОТ ЭКСПО**



**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ФОРУМ**

ОРГАНИЗАТОР



МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВЫСТАВОЧНЫЙ
ОПЕРАТОР



МКВ
МЕЖДУНАРОДНЫЕ
КОНГРЕССЫ И ВЫСТАВКИ

WWW.RUSARMYEXPO.RU

23-27 | 05 | 2022

Россия, Москва,
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»



22-я международная
специализированная
выставка

МЕТАЛЛОБРАБОТКА

«Оборудование,
приборы и инструменты
для металлообрабатывающей
промышленности»



МИНПРОМТОРГ
РОССИИ



www.metobr-expo.ru

12+ Реклама

ЭКСПОЦЕНТР